



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº BR 102016010228-6

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: BR 102016010228-6

(22) Data do Depósito: 05/05/2016

(43) Data da Publicação Nacional: 02/07/2019

(51) Classificação Internacional: G01M 1/30; F16F 15/10.

(66) Prioridade Interna: BR102015010473-1 de 07/05/2015.

(54) Título: SUPORTES VISCOELÁSTICOS COM MASSA OSCILANTE PARA CONTROLE DE VIBRAÇÕES EM MÁQUINAS ROTATIVAS

(73) Titular: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANA. CGC/CPF: 75095679000149. Endereço: Rua João Negrão, 280 2o andar, PR, BRASIL(BR), 80010-200; DYN TECHNOLOGIES CONSULTORIA INDUSTRIAL E APLICAÇÕES AVANÇADAS LTDA -ME. Endereço: Rua Lodovico Geronazzo, 1791, Curitiba, PR, BRASIL(BR), 82560-040

(72) Inventor: CARLOS ALBERTO BAVASTRI; EDUARDO AFONSO RIBEIRO; EDUARDO MÁRCIO DE OLIVEIRA LOPES; JUCÉLIO TOMÁS PEREIRA.

Prazo de Validade: 20 (vinte) anos contados a partir de 05/05/2016, observadas as condições legais

Expedida em: 25/05/2021

Assinado digitalmente por:

Liane Elizabeth Caldeira Lage

Diretora de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados

“SUPORTES VISCOELÁSTICOS COM MASSA OSCILANTE PARA CONTROLE DE VIBRAÇÕES EM MÁQUINAS ROTATIVAS”

[01] Refere-se a presente patente de invenção suportes viscoelásticos com massa oscilante para controle de vibrações em máquinas rotativas, aplicado em controle de vibrações em máquinas, com a finalidade de gerar e ou transmitir movimento rotativo, como compressores centrífugos, bombas, motores elétricos, geradores, turbinas, e outros, mantendo uma operação segura dentro da faixa de frequência nominal, através de construtividade mecânica inovadora que permite redução das amplitudes de vibração em máquinas rotativas, aumentando a faixa de frequência nominal para trabalhos seguros com melhor performance, trazendo vantagens de simplicidade operacional, aumento de vida útil da máquina, redução de custos com retrabalho e menor ruído.

[02] Como é de conhecimento dos meios técnicos ligados à fabricação de mancais, atualmente existem as seguintes soluções:

[03] 1. Mancais hidrodinâmicos tipo *tiltingpad*, constituído de sapatas pivotantes com pressão do fluido gerada pelo peso do eixo e rotação gerando o controle passivo de vibrações, porém possui modelos matemáticos com pouca precisão, ainda apresenta um controle limitado devido aos fenômenos de instabilidade do filme de óleo;

[04] 2. Mancais magnéticos de controle ativo, constituído de *hardwares* mensurando em tempo real as vibrações e de *softwares* fazendo cálculos e atuando e controlando as vibrações do eixo a partir da atuação da força magnética no mancal, porém apresenta alto custo de implementação e operação; e

[05] Mancais hidrodinâmicos com controle ativo na pressão do fluido, similar ao mancal hidrodinâmico *tiltingpad*, constituído de *hardwares* mensurando em tempo real as vibrações e de *softwares* fazendo cálculos e atuando e controlando as vibrações do eixo a partir da alteração da pressão do fluido no seu interior, embora seja uma evolução sobre o mancal hidrodinâmico *tiltingpad* ainda apresenta precisão de cálculo insuficiente e alto custo.

[06] Fazendo-se buscas nos bancos de patente brasileiro e internacionais, encontramos as seguintes revelações:

[07] Patente brasileira PI 1103838-1 denominada sistema e método de seleção e armazenamento de dados de vibração, que revela um método para seleção e armazenamento de dados de vibração. O sistema e método proporciona, dados de certas leituras de rotação e vibração obtidos de um ou mais sensores apropriados, instalados em um ou mais equipamentos rotativos: a seleção de dados de interesse para análise de vibração; a transformação dos mesmos através do uso de Fast Fourier Transforms (FFT); a identificação dos picos de maior amplitude destas FFT em diferentes faixas de frequência; a aplicação de um algoritmo de descarte de picos semelhantes entre leituras - de forma a reduzir o volume de dados a serem armazenados e analisados; e, finalmente, armazenar os picos selecionados de forma simples e recuperável.

[08] Patente estadunidense 8319380 denominada máquina eletrodinâmica de massa em rotação, que revela rotores de motores de indução, os métodos de ajuste de rigidez incluem orientação seletiva e compactação das montagens de tirante modular em furos de passagem formados no rotor de laminação núcleo externo do eixo do rotor durante a fabricação do motor, reparação e renovação. Ajuste da rigidez permite uma fabricante do motor ajustar a estabilidade roto dinâmica de um rotor, e, conseqüentemente, a velocidade de vibração fundamental do motor montado.

A máquina rotativa eletrodinâmica de massa pode ser ajustada em resposta a concepção física da máquina, com aplicação operacional e de variação de fabricação atributos que impactam a frequência de vibração fundamental da máquina montada. Assim, a presente invenção oferece uma abordagem sistemática e holística para o refinamento da vibração do motor através do uso de um simples kit de conjuntos de tirante modular orientados e apertados em uma matriz selecionada. O ajuste de rigidez do rotor pode ser testado virtualmente em estações de trabalho do computador. A sintonização da rigidez adicional do rotor pode ser realizada durante a fabricação.

[09] Patente estadunidense 6518770 denominada sistema para medir as cargas dinâmicas que revela um sistema para medir as cargas dinâmicas de um sistema roto dinâmico tendo um rotor que inclui um mancal magnético disposta ao redor do rotor e que tem uma pluralidade de magnetos e pelo menos um aferidor de tensão de fibra óptica associados com um polo de um respectivo ímã. O aferidor de tensão de fibra óptica é operável para detectar uma pressão sobre o respectivo polo resultante das cargas dinâmicas. A tensão detectada é indicativo das cargas dinâmicas.

[010] Patente estadunidense 5724271 denominada método para balancear um rotor de uma máquina rotativa, que revela um método para balancear um rotor de uma máquina rotativa, tal como uma unidade de turbina-gerador a vapor. Uma equação de tempo-dependente é formulada para vibração do rotor com base em um modelo de computador roto dinâmico derivada da análise de elemento finito de vibração do rotor da máquina, devido às forças centrífugas provocadas pela adição de pesos de desequilíbrio. A equação é resolvida repetidamente no domínio da frequência em um programa de otimização que utiliza iterações para determinar as massas desbalanceadas fazendo reproduzir a vibração do rotor do modelo com a vibração medida do rotor da máquina. Em seguida, são adicionadas massas de balanceamento no

rotor da máquina, que são o inverso das massas desbalanceadas que foram adicionados ao rotor do modelo.

[011] Patente estadunidense 5633800 denominado sistema de diagnóstico e método de rotação de máquinas, que revela um sistema de diagnóstico e método de rotação de máquinas com problemas mecânicos que combina raciocínio interpretativo baseado em AI com modelagem roto dinâmica à base e otimização numérica. Uma resposta de vibração nas máquinas para ser diagnosticada é medida pela primeira vez por sensores da máquina, e esta resposta medida é usada num sistema pericial baseado em regras para determinar a causa provável de um problema mecânico da máquina. Um modelo de análise de elemento finito adequado da máquina é gerado com base na causa provável. Um cálculo otimizado gera a resposta prevista a partir do modelo de análise e compara com a resposta medida. O modelo é refinado automaticamente, guiada pelo sistema numérico pericial e otimizado, para coincidir com a resposta prevista com a resposta medida. As modificações ao modelo necessárias para reproduzir a resposta medida da máquina defeituosa são então indicativo dos defeitos.

[012] Patente estadunidense 7630869 denominada método para analisar as características de vibração de equipamentos rotativos, que revela um método para analisar as características de vibração de equipamentos rotativos, tais como discos rígidos e motores a jato, que são acoplados através de rolamentos de suportes flexíveis. No método, o dispositivo de rotação é discretizado, por exemplo, utilizando uma malha adequada para a análise de elemento finito. O apoio também é discretizado. A frequência natural de modos de vibração elásticos para o dispositivo de giro é calculada e a frequência natural de modos para o apoio de vibração é calculada. Os modos de vibração são então calculados e um conjunto de base modal correspondente aos modos de vibração é utilizado. Rolamento de rigidez e de amortecimento

são matrizes de entrada, e as equações do movimento de *Lagrange* são integradas numericamente no espaço restrito, para calcular a resposta vibratória do dispositivo de rotação e de suporte. Os resultados espaciais modais são então transformados em espaço comum. A análise de vibração pode ser utilizada para conceber os dispositivos que tenham características vibracionais desejados.

[013] Patente estadunidense 7275627 denominada aparelho de supressão de vibração ativa inclui um atuador rotativo, que revela um aparelho de supressão de vibração ativa inclui um atuador rotativo, o qual está fixo a um alvo supressão de vibrações e gera um binário numa direção rotacional, uma carga de inércia, o qual está ligado ao atuador e move-se no sentido de rotação em relação ao alvo supressão de vibrações de acordo com um binário de o atuador, e um circuito de condução para gerar um sinal de comando de condução para controlar a carga de inércia e acionar o atuador rotativo, de acordo com o sinal de comando de condução. O atuador rotativo roda / aciona a carga de inércia, com um binário gerado, e reduz as vibrações produzidas no alvo supressão de vibrações através da aplicação de uma força de reação gerada após a unidade rotativa / dirigir a carga de inércia como um binário de controle para a supressão de vibrações alvo.

[014] Patente japonesa JP2005009682 denominada dispositivo de controle de vibração, que revela um triângulo isóscele formado por 60 braços como um triângulo acutângulo com um suporte rotativo como o vértice e um eixo de resistência movimentos ao longo de uma ranhura de guia, mudando a direção de movimento em 90 de [graus]. Apresentam grande força de amortecimento. O eixo de resistência, está, portanto, provido com uma função de amortecimento em sentidos tridimensionais verticais e horizontais, não utilizando um tipo de movimento linear do amortecedor, mas utilizando

um corpo viscoelástico. O grau de liberdade de design do dispositivo de controlo de vibração é, assim, aumentado.

[015] Patente japonesa JP2000055120 denominada método dispositivo de vibração em corpo suspenso rotativo, que revela a forma viável através da formação de um elemento de amortecimento de acordo com uma característica de transmissão de um corpo rotativo a partir de um sinal de detecção de meios de detecção de uma vibração para detectar a vibração absoluta de um jugo, e controla a força magnética gerada por um eletroímã de modo a conter a vibração gerada no jugo com base do elemento de amortecimento. SOLUÇÃO: Quando aplicado a uma máquina rotativa com um cilindro de saliência, uma vibração limitadora 20 é constituída por possuir um jugo secundário, e um veio é penetrado no jugo secundário. O jugo secundário é fornecido com um sensor de aceleração para 24Y detecção direcional X / Y aceleração direcional gerado no jugo secundário por vibração do veio transmitido através de um rolamento de esferas. Um sinal de detecção de aceleração do sensor de aceleração para 24Y é fornecido a um controlador para ser convertido em uma velocidade aqui, e o jugo secundário é acionado através de um amplificador de potência e uma bobina para executar um controle skyhook por controlo de retorno da velocidade absoluta do veio.

[016] Patente japonesa JP2009154773 denominada dispositivo de controle de vibração, que revela um dispositivo de controle de vibração capaz de reduzir a saída de um meio de controle de vibração, realizável através de um pequeno meio de controlo de vibração, e capaz de controlar um mesmo campo e um rolo. ; SOLUÇÃO: Este dispositivo de controlo de vibração tem uma parte de suporte de carga instalado na parte de instalação, uma parte de contrapeso ligada à parte de suporte de carga e aplicando um balanceamento de carga com uma carga, uma parte de controle de vibração tendo os meios de controlo de vibração controle de vibração para a instalação parte da parte de

suporte de carga, uma de detecção aceleração significa detectar a aceleração da peça de suporte de carga, a primeira detecção de rotação do eixo significa detectar o movimento de rotação de um primeiro eixo da peça de suporte de carga e uma primeira rotação do eixo rotativo significa a parte de suporte de carga para o primeiro eixo, e é caracterizada por o controlo da vibração significa é controlado em resposta a um valor de detecção do detecção de aceleração significa, e o primeiro eixo de rotação meios é controlado em resposta a um valor de detecção do primeiro eixo de rotação que detecta.

[017] Patente japonesa JP2000110889 denominada dispositivo de controle de vibração, que revela uma qualidade de imagem de ser deteriorado por ter um eixo de suporte para um grande rotor, um primeiro rotor fixo ao eixo de suporte, e um segundo rotor fixo ao eixo de suporte ou o primeiro rotor através de um medidor de elasticidade e especificando a relação do momento de inércia de cada rotor, rigidez de torção do eixo de suporte, e a velocidade periférica do rotor principal por uma equação. SOLUÇÃO: O isolador de vibração está provido de um eixo de suporte, um volante, e um redutor de vibração dinâmica composto por um corpo elástico e um corpo de inércia de rotação, e o eixo de suporte e está integralmente fixo rotativamente a um tambor fotossensível. O momento de inércia I_{dd} do corpo inércia rotativa, o momento de inércia do volante se, o momento de inércia I_{dr} do tambor fotossensível, a rigidez torcional G do eixo de suporte, e o circunferencial velocidade V do cilindro fotossensível satisfazer uma equação e as frequências $2\frac{1}{2}$ tempos de frequência de ressonância é menor do que o limite mais baixo da região de frequência visível do passo de irregularidade. O ruído de condução é assim amortecido, a vibração causada pela variação de velocidade do tambor fotossensível é reduzida, o desnível passo é suprimido, e a deterioração da qualidade da imagem é impedida.

[018] Patente japonesa JP2009031052 denominada Método e sistema para corrigir desbalanceamentos em alta velocidade de rotação do equipamento que revela um método para corrigir o desbalanceamento de equipamento de alta velocidade de rotação que permite a exclusão do efeito de múltiplos componentes integrais de vibração em vibração rotativa primária causados pelo desbalanceamento do equipamento de rotação de alta velocidade, mesmo quando a vibração ocorre devido a uma estrutura de suporte do rolamento de uma parte rotativa de uma peça de trabalho, ou semelhantes, e que, assim, permite a melhoria da precisão na correção do desbalanceamento. SOLUÇÃO: Os dados do eixo tempo em cada vibração detectada (valor global) e a vibração de giro (valor extração) são feitos os dados do eixo de frequência por meio de análise de frequência, e um valor de amplitude e um valor de fase em uma frequência de rotação primário são derivados de cada dos dados do eixo de frequência. Estes valores são convertidos em vetores complexos e de um vetor de diferença entre o vetor de complexo quanto à vibração detectada e o vetor complexo quanto à vibração turbilhão é calculado. Deste modo, um vetor de desbalanceamento é calculado, em que o efeito dos vários componentes integrais de vibração é removido da vibração rotativa primária aparente.

[019] Patente japonesa JP2002333021 denominada método e dispositivo magnético de controle de rolamento, que revela um rolamento magnético é controlada em combinação adequada de controle ABS, controle cruzado N, N controle direto e controle FF, bem como controle PID. Neste caso, uma tabela para um número de rotação e para cada entrada de controle é fornecido planejamento que é gerido por um computador de controle de entrada correspondente ao número de rotação.

[020] Patente japonesa JPS56133617 denominada método de monitoramento de vibração de máquina rotativa que revela uma máquina

rotativa de vibrar de forma anormal durante o desempenho de discriminação pela estimativa da amplitude de vibração após o processamento de dados e por discriminar uma falha com base no valor estimado. CONSTITUIÇÃO: O sinal de vibração de captação montada na parte revista de rolamento suportando um sistema de eixo de rotação de saída é convertido por vibrômetro num sinal elétrico, o qual é introduzido no dispositivo de controle através de múltiplos aritmética dispositivo de entrada de dados 8 e A / D 9. O conversor de sinal de rotação do detector de rotação, por outro lado, é introduzido no dispositivo de controle aritmético através do taquímetro, e com base na amplitude de vibração a que o tempo obtido pelo dispositivo de controle e aritmética dos dados anteriores, as vibrações dispositivo e encontra o valor estimado da amplitude de vibração após a realização de processamento de dados. Em seguida, o discriminador compara este valor calculado com o valor de referência a discriminação a partir do dispositivo de memória e, em seguida, a existência de uma falha é discriminado para apresentar o resultado no dispositivo de exibição. Por conseguinte, a geração de vibração anormal pode ser detectada na fase inicial onde a vibração é pequena.

[021] Patente chinesa CN203467456 denominada método para analisar as características de vibração de equipamentos rotativos, que revela um método para analisar as características de vibração de equipamentos rotativos, tais como discos rígidos e motores a jato, que são acoplados através de rolamentos de suportes flexíveis. No método, o dispositivo de rotação é discretizado, por exemplo, utilizando uma malha adequada para a análise de elemento finito. O apoio também é discretizado. A frequência natural de modos de vibração elásticos para o dispositivo de giro é calculada e a frequência natural de modos para o apoio de vibração é calculada. Os modos de vibração são então calculados e um conjunto de base modal correspondente aos modos de vibração é utilizado. Rolamento de rigidez e de amortecimento

são matrizes de entrada, e as equações do movimento de *Lagrange* são integrados numericamente no espaço restrito, para calcular a resposta vibratória do dispositivo de rotação e de suporte. Os resultados do espaço modal são então transformados no espaço de configurações. As análises de vibração podem ser utilizadas para conceber os dispositivos que tenham características vibracionais desejados.

[022] As soluções atuais apresentam desvantagens, inconvenientes e limitações tais como:

- A) Alto custo de investimento e manutenção;
- B) Limitação de aplicação a um tipo de máquina rotativa;
- C) Utilização de sistemas complexos (geometria/implementação);
- D) Processo de controle de vibração dependente de monitoramento em tempo real; e
- F) Controle de vibrações limitado.

[023] “SUPORTES VISCOELÁSTICOS COM MASSA OSCILANTE PARA CONTROLE DE VIBRAÇÕES EM MÁQUINAS ROTATIVAS”, objeto da presente patente, foi desenvolvido para superar as limitações, os inconvenientes e as desvantagens dos mancais atuais, pois através de construtividade mecânica inovadora obteve um processo baseado no método dos elementos finitos aplicado ao sistema rotor-mancal, e aliado ao modelo de derivadas fracionárias para o material viscoelástico e um método de otimização, para o dimensionamento de suportes de geometria simples compostos por materiais viscoelásticos trabalhando ao cisalhamento e massa oscilante com um ou mais graus de liberdade de movimento, com a proposta de utilização de suportes que não necessitam de aparelhos complexos de medição e cálculos em tempo real, que permite redução das amplitudes de vibração em máquinas rotativas, aumento a faixa de frequência nominal para operação segura, melhor performance dinâmica, e traz vantagens de

simplicidade operacional, aumento de vida útil da máquina, redução de custos com retrabalho e menor ruído.

[024] Problemas técnicos que as anterioridades não resolvem e forma como foi solucionado pelo suportes viscoelásticos com massa oscilante da presente patente:

- a) Demanda de aparatos eletrônicos de controle bastante complexos, resolvido através cálculos prévios em aparelhos de menor custo e suportes de geometria simples e construída com materiais de menor custo;
- b) No caso mancal hidrodinâmico *tiltingpada* geometria é complexa, resolvido através cálculos prévios em aparelhos de menor custo e suportes de geometria simples e construída com materiais de menor custo;
- c) No caso dos mancais magnéticos de controle ativo o processo de levitação do eixo exige o fornecimento contínuo de energia elétrica e na falta desta utiliza mancais de rolamento de segurança *backup*, resolvido através de cálculos prévios e a utilização de suportes de geometria simplificada; e
- d) Os mancais atuais necessitam de cálculos e correções em tempo real e aparelhos complexos, resolvido pelo presente invento através de resolução de cálculos prévios que otimizam o dimensionamento do suporte.

[025] O objeto da presente patente foi obtido após incessantes pesquisas que se iniciou em 2006 com a implementação de um código computacional *Rotordyn*, baseado no método dos elementos finitos, capaz de calcular a dinâmica de um sistema rotativo, rotor-inércias-mancais, (máquina rotativa) em termos de Diagrama de Campbell, Resposta em frequência, Resposta no tempo e Modos de vibrar. Nesta implementação foram utilizadas

quatro teorias de viga para o rotor, sendo que a formulação de Timoshenko quadrática se mostrou mais precisa quando confrontado com resultados experimentais.

[026] Em 2007 foram implementados dois modelos de consideração de suportes elásticos no sistema, baseados primeiramente no método de acréscimo de graus de liberdade e por parâmetros equivalentes generalizados, obtendo bons resultados numérico-experimentais. Após a exaustiva validação experimental deste código de 2006-2008, o mesmo foi alterado em 2008, para considerar nas simulações de mancais hidrodinâmicos e cálculo de balanceamento otimizado para máquinas rotativas baseado em curvas de resposta em frequência, gerando resultados numéricos incoerentes.

[027] Em 2009 estas implementações foram refeitas e ainda foi inserido o cálculo de vibrações torcionais, desta vez os resultados se mostraram coerentes numérico-experimentalmente.

[028] Em 2010 surge a necessidade de implementar soluções consistentes e alternativas às atuais soluções em controle de vibrações para máquinas rotativas. Esse processo inicia-se com o desenvolvimento de conceitos funcionais de suportes compostos por materiais viscoelásticos. Estes conceitos foram desenvolvidos com o objetivo de atenuar as vibrações nos graus de liberdade de translação e rotação de uma máquina rotativa. Todos os conceitos foram também preparados para permitir cisalhamento puro nas mantas de materiais viscoelásticos. Baseado nestes conceitos, assim como nos modelos de fundação (suportes elásticos, 2007) e no modelo de derivadas fracionárias de quatro parâmetros, foi desenvolvido o conceito de suporte viscoelástico com massa (fundação) oscilante.

[029] Em 2012 foi realizada a implementação no código computacional Rotordyn a rigidez dinâmica equivalentedo suporte para

permitir o projeto ótimo das características construtivas deste suporte, para qualquer tipo de máquina rotativa com eixo linear.

[030] De 2013-2014 os resultados numéricos se mostraram bastante coerentes e promissores.

[031] Em 2014 foram definidas as concepções finais dos suportes viscoelásticos com massa oscilante em três modelos diferentes, o primeiro de translação, o segundo de rotação e o terceiro misto (rotação e translação).

[032] Dois exemplos utilizados na etapa de pesquisa são apresentados. O primeiro exemplo considera um modelo de rotor simples didático e compara a dinâmica do sistema em termos de resposta em frequência e transmissibilidade. Neste exemplo, para comparação, são considerados apoios de mancal de rolamento, mancal de rolamento com mantas de material viscoelástico e por fim suportes viscoelásticos com massas oscilantes otimizados. As características do rotor utilizado neste exemplo são apresentadas nas tabelas 1 a 3 em sequência e na figura 1 em anexo:

Tabela 1: Características geométricas e propriedades do eixo.

Comprimento [mm]	Diâmetro [mm]	Mod. Young [GPa]	Poisson	Densidade [kg/m ³]
1000	50	210	0.3	7850

Tabela 2: Geometria do disco.

Posição [mm]	Diâmetro Ext. [mm]	Espessura [mm]	Densidade [kg/m ³]
500	350	30	7850

Tabela 3: Desbalanceamentos.

Posição [mm]	Massa excêntrica [gmm]	Fase [°]
350	200	0
650	200	90

Tabela 4: Propriedades do material viscoelástico.

Tipo	G ₀ [MPa]	G _∞ [MPa]	b ₁	β	φ ₁	φ ₂	T ₀ [K]
Neoprene	5.32	148	0.0054	0.359	10.1	137	277.7
Butílica	0.18	241	0.0045	0.424	9.91	119	273

[033] Na figura 18 observa-se o modelo numérico do rotor simulado, com 8 elementos finitos quadráticos, juntamente com as posições dos mancais/suportes.

[034] Na figura 19, observa-se a comparação supracitada em termos de resposta de freqüência.

[035] É notória a grande redução das amplitudes de vibração em torno da ressonância do rotor, promovido pelo suporte viscoelástico objeto desta patente.

[036] Na figura 20 pode ser observada outra grande vantagem do presente invento que é a redução da transmissibilidade da máquina rotativa. Neste gráfico está apresentado a comparação entre os três tipos de apoios citados. Os suportes viscoelásticos promovem maior redução da transmissibilidade do rotor em velocidade de rotação acima da ressonância do rotor, quando comparado aos outros tipos de apoios.

[037] O segundo exemplo conta com um modelo de rotor de uma máquina rotativa comercial, a saber, um motor elétrico com potência de 500 [cv]. Nesse exemplo os tipos de apoio comparados são: mancais

hidrodinâmicos, e suportes viscoelásticos com massa oscilante otimizados. As propriedades do material viscoelástico estão apresentadas na Tabela 4. As demais características geométricas do rotor são apresentadas nas tabelas 5 a 7 e na figura 21.

Tabela 5: Geometria e propriedades do eixo.

Comprimento [mm]	Diâmetro[mm]	Mod. Young [GPa]	Poisson	Densidade [kg/m ³]
170	80			
310	100			
115	160			
1305	190			
214	200	210	0.3	7850
139	160			
365	100			
60	85			

Table6: Geometria e propriedades dos discos.

Posição [mm]	Diâmetro Ext.	Espessura [mm]	Densidade
982.5			
1227.5			
1472.5	482.6	245	7850
1717.5			

Table 7: Desbalanceamentos.

Posição [mm]	Massa excêntrica [gmm]	Fase [°]
860	313	0
1840	182	0

[038] Na figura 22 apresenta o gráfico com a grande vantagem do ponto de vista dinâmico da utilização de suportes viscoelásticos, objeto da presente patente de invenção, frente a utilização de mancais hidrodinâmicos. Este gráfico é apresentado em dois conjuntos de curvas, pois os mancais hidrodinâmicos possuem assimetria de rigidez e amortecimento, fato que torna diferentes as respostas nas direções horizontal, curva (a), e vertical, curva (b).

Esta assimetria pode gerar instabilidades dinâmicas no rotor, fato que é superado pela utilização dos suportes viscoelásticos, objeto desta patente.

[039] Para melhor compreensão do presente invento são anexados os seguintes desenhos:

[040] **FIGURA 1.**, que mostra o diagrama de blocos da sequência do dimensionamento de suportes viscoelásticos com massa oscilante da presente patente.

[041] **FIGURA 2.**, que mostra a vista em perspectiva explodida do suporte de rotação da presente patente;

[042] **FIGURA 3.**, que mostra a vista em perspectiva do suporte de rotação sem a massa oscilante da presente patente;

[043] **FIGURA 4.**, que mostra a vista em perspectiva explodida do suporte de translação da presente patente;

[044] **FIGURA 5.**, que mostra a vista em perspectiva do suporte de translação sem a massa oscilante da presente patente;

[045] **FIGURA 6.**, que mostra a vista em perspectiva explodida do suporte combinado de translação e rotação da presente patente;

[046] **FIGURA 7.**, que mostra a vista em perspectiva do suporte combinado de translação e rotação sem a massa oscilante da presente patente;

[047] **FIGURA 8.**, que mostra a vista em perspectiva explodida do suporte combinado de rotação e translação da presente patente;

[048] **FIGURA 9.**, que mostra a vista em perspectiva do suporte combinado de rotação e translação sem a massa oscilante da presente patente;

[049] **FIGURA 10.**, que mostra a vista em perspectiva do conjunto sem o pedestal e massa oscilante do suporte de amortecimento de translação da presente patente;

[050] **FIGURA 11.**, que mostra a vista em perspectiva explodida do enrijecedor de esferas do suporte de translação e combinados da presente patente;

[051] **FIGURA 12.**, que mostra a vista em perspectiva explodida do enrijecedor de pino articulado do suporte de translação e combinados da presente patente;

[052] **FIGURA 13.**, que mostra a vista em perspectiva do amortecedor de translação do suporte da presente patente;

[053] **FIGURA 14.**, que mostra a vista em perspectiva do amortecedor de rotação do suporte da presente patente;

[054] **FIGURA 15.**, que mostra a vista em perspectiva do enrijecedor do suporte de rotação e combinados da presente patente;

[055] **FIGURA 16.**, que mostra a vista em perspectiva do anel interno do suporte de amortecimento de translação da presente patente;

[056] **FIGURA 17.**, que mostra a vista em perspectiva do anel interno do suporte de amortecimento de rotação da presente patente.

[057] **FIGURA 18.**, que mostra o modelo numérico do rotor simulado, com todas as dimensões estão em metros;

[058] **FIGURA 19.**, que mostra comparações em termos de resposta de frequência;

[059] **FIGURA 20.**, que mostra comparações de transmissibilidade da máquina rotativa;

[060] **FIGURA 21.**, que mostra um modelo numérico do rotor de uma máquina rotativa comercial; e

[061] **FIGURA 22.**, que mostra comparações em termos de assimetria.

[062] O dimensionamento de suportes viscoelásticos com massa oscilante da presente patente se dá na seguinte sequência:

[063] A. Coleta das informações sobre a demanda de máquina, cálculos e especificação de material viscoelástico e estabelecimento dos dados operacionais:

[064] A.1 Informa-se os dados geométricos e de propriedades mecânicas da máquina rotativa:

[065] A.1.1 Informa-se os dados do Eixo: diâmetros (mm) e comprimentos (mm) das seções, módulo de Young (Pa), Poisson e densidade (kg/m³); dos Discos (se houver): diâmetro externo (mm), comprimento (mm), diâmetro interno (mm) e densidade (kg/m³); dos componentes Inércias (se houver), valores de inércia nos três eixos coordenados (kg.m²); dos mancais: posição dos mancais (mm); e dos planos de balanceamento: posição dos planos (mm) e transfere-se para o item A.2.3 e para o item B.1;

[066] A.1.1.1 Calcula-se os coeficientes de rigidez e amortecimento dos mancais em (N/m) e (N.s/m) e transfere-se para o item B.1;

[067] A.1.1.2 Define-se o Material Viscoelástico, se não identificado vai ao item A.1.1.3, sendo o mesmo já identificado vai ao item B.1;

[068] A.1.1.3 Realiza-se o ensaio de caracterização do material viscoelástico; e

[069] A.1.1.4 Estabelece-se o modelo de derivadas fracionárias, com quatro parâmetros, do módulo complexo, do material viscoelástico, em função da frequência e temperatura, juntamente com os três parâmetros do deslocamento na temperatura e transfere-se para o item B.1;

[070] A.2 Informam-se os dados operacionais:

[071] A.2.1 Informa-se a faixa de rotação nominal e transfere-se para o item B.1;

[072] A.2.2 Informa-se o valor do desbalanceamento remanescente, por norma ou outro (gmm ou outra unidade) e transfere-se para o item B.1;

[073] A.2.3 Informa-se as forças externas aplicadas ao eixo e/ou a (os) rotor (es) e estabelece-se:

[074] A.2.3.1 Estabelece-se o tipo de suporte segundo o grau de liberdade, entre translação, rotação e combinado (translação e rotação), e transfere-se para o item B.1; e

[075] A.2.3.2 Estabelece-se os limites mínimos e máximos das variáveis otimizáveis (geometria das mantas de material viscoelástico e massa/inércia oscilante) e transfere-se para o item B.1; e

[076] A.3 Estabelece-se critério (s) de finalização da otimização, por exemplo, utilizando-se o método de Algoritmos Genéticos, o critério utilizado seria o número de gerações e transfere-se para o item B.1;

[077] B. Cálculos computacionais de dimensionamento:

[078] B.1 Monta-se o banco de dados com todas as informações coletadas em A e transfere-se para os itens B.1.1, B.1.2 e C.1;

[079] B.1.1 Gera-se a malha de elementos finitos para o sistema rotativo;

[080] B.1.2 Monta-se o sistema de equações com as matrizes de massa (M), giroscópica (G), rigidez (K) e amortecimento (C), sem considerar influência do suporte viscoelástico nesta etapa;

[081] B.1.3 resolve-se o problema de autovalores e auto vetores em relação às matrizes de massa (M), giroscópica (G), rigidez (K) e amortecimento (C); e

[082] B.1.4 Obtém-se os parâmetros modais, respectivamente a matriz espectral e a matriz de modos, e transfere-se para o item C.2;

[083] C. Otimização de Dimensionamento:

[084] C.1 Monta-se a matriz de rigidez equivalente (K_{eq}), referente às características dos suportes viscoelásticos, através do método dos parâmetros equivalentes generalizados;

[085] C.2 Calcula-se a resposta forçada ao desbalanceamento por meio dos parâmetros modais e rigidez dinâmica equivalente, K_{eq} ;

[086] C.3 A partir das informações do item A.3 verifica-se o critério de finalização: não sendo atingido vai para o item C.3.1 e sendo o mesmo atingido vai ao item C.3.2;

[087] C.3.1 Altera-se os parâmetros geométricos das mantas viscoelásticas e das massas oscilantes dos suportes viscoelásticos e retorna-se ao item C.1; e

[088] C.3.2 Finaliza-se processo de otimização e salvam-se os valores ótimos dos parâmetros geométricos das mantas viscoelásticas e das massas oscilantes dos suportes, e transfere-se para o item D.1.

[089] D. Dimensionamento Final para Construção:

[090] D.1 Estabelece-se a geometria final dos suportes viscoelásticos; e

[091] D.2 Projeta-se a geometria final e libera-se para fabricação, instalação e testes dos suportes viscoelásticos.

[092] De acordo com as referidas figuras, o dimensionamento de suportes viscoelásticos com massa oscilante para máquinas rotativas do presente patente permite a obtenção dos seguintes modelos de suportes:

[093] 1. Suporte de amortecimento rotacional constituído de pedestal (PDR) de formato anelar com seção transversal retangular com dois ressaltos (PDR-1) de formato circular e com orifícios (PDR-1-A) de formato circular no costado e fixado nos enrijecedores (ENR) posicionados no segundo setor anelar de amortecimento, nos amortecedores (AMR) e encaixado na massa oscilante (MOR); rolamento (RM) tipo radial fixo ou similar encaixado

no anel (AIR);anel (AIR) de formato circular com seção transversal retangular, com orifícios de resfriamento (AIR-1) de formato circular posicionados simetricamente na parte externa da peça, com rebaixos (AIR-2) de formato semianelar e de cantos arredondados posicionado simetricamente ao centro e fixado no rolamento (RM) e no primeiro setor anelar de amortecimento dos amortecedores (AMR) e dos enrijecedores (ENR); enrijecedores(ENR) dotado de suporte superior (ENR-1) de formato prismático retangular côncavo, de roletes (ENR-2) de formato cilíndrico posicionados na canaleta (ENR-3-A) e de suporte inferior (ENR-3) de formato prismático retangular côncavo, com canal (ENR-3-A) de formato retangular, com os enrijecedores posicionados simetricamente e radialmente em duas posições em relação centro do eixo motor e fixados no pedestal (PDR), no anel (AIR) e no anel (ATR);amortecedores rotativos (AMR) dotado de um conjunto composto de suporte superior(AMR-1) de formato prismático retangular côncavo com orifícios (AMR-1-A) de formato circular e de suporte inferior (AMR-2) de formato prismático retangular convexo com orifícios (AMR-2-A) de formato circular na face frontal posicionados nas extremidades e composto de camadas metálicas (AMR-4) de formato prismático côncavo-convexas intercaladas com camadas de material visco-elástico (AMR-3) formato prismático côncavo-convexas de que se une com o suporte superior (AMR-1), o suporte inferior (AMR-2) e as chapas metálicas (AMR-4) por vulcanização em forma de sanduíche, os amortecedores (AMR) são distribuídos simetricamente em circunferência e radialmente em duas posições sem relação ao centro do eixo motor e fixados no pedestal (PDR), no anel (AIR), no anel (ATR) e nos suportes (SP);anel (ATR) de formato circular com seção transversal retangular e com orifícios (ATR-1) de formato circular na parede externa e fixado nos enrijecedores (ENR), nos amortecedores (AMR) e na massa oscilante (MOR);fixadores (SP) em formato de setor circular, com

orifícios(SP-1) de formato circular na face frontal e fixado nos amortecedores (AMR); e massa oscilante (MOR) de formato cilíndrico oco, com orifício (MOR-1) de formato circular no centro da face frontal e com orifícios (MOR-2) de formato circular distribuídos simetricamente em relação ao centro encaixado no pedestal (PDR) e fixado no anel (ATR).

[094] 2. Suporte de amortecimento translacional constituído de um pedestal (PDT) de formato anelar com ressalto (PDT-1) de formato cilíndrico escalonado com orifícios (PDT-1-A) de formato circular no costado e fixado nos amortecedores de translação (AMT) localizados no segundo setor anelar de amortecimento e distribuídos simetricamente ao longo da circunferência do costado, e fixado nos enrijecedores (ENT) também localizados no segundo setor anelar de amortecimento e distribuídos simetricamente na circunferência do costado; um rolamento (RM) tipo radial fixo ou auto compensador inserido no anel (AIT); um anel (AIT) de formato cilíndrico com ressalto (AIT-1) de formato circular nas duas faces e com orifícios (AIT-2) de formato circular distribuídos simetricamente no costado e fixado nos amortecedores de translação (AMT) posicionados no primeiro setor anelar de amortecimento e nos enrijecedores (ENT) posicionados no primeiro setor anelar de amortecimento ambos distribuídos simetricamente ao longo da circunferência; conjuntos de amortecedores de translação (AMT) dotado cada um de, suportes laterais (AMT-1) de formato prismático em “L” côncavo com orifícios (AMT-1-A) de formato circular na parte externa e posicionados nas extremidades, e de chapas metálicas (AMT-2) de formato circular intercaladas em camadas com mantas de material viscoelástico (AMT-3) de formato circular que se une com os suportes laterais (AMT-1) e com as chapas metálicas (AMT-2) por vulcanização em forma de sanduíche, com os amortecedores (AMT) distribuídos simetricamente e radialmente em duas posições em relação ao centro do eixo motor, os do primeiro setor anelar

fixam-se aos anéis (AIT) e (ATT), os do segundo setor anelar fixam-se ao anel (AST) e ao pedestal (PDT); conjuntos de enrijecedores (ENT) cada um dotado de esferas (ENT-1) tipo metálica, de posicionadores (ENT-2) de formato prismático retangular côncavo, com orifícios (ENT-2-A) de formato circular esférico na face, e de bases (ENT-3) de formato prismático retangular côncavo, com cada conjunto de enrijecedores (ENT) distribuídos simetricamente e paralelamente em relação ao centro do eixo motor, sendo os do primeiro setor anelar de amortecimento tangentes aos anéis (AIT) e (ATT) e os do segundo setor anelar de amortecimento tangentes aos anéis (AST) e (PDT); anéis (ATT) de formato cilíndrico com ressalto (ATT-1) de formato circular e com orifícios (ATT-2) distribuídos simetricamente na parede externa e fixado nos amortecedores (AMT) e tangente aos enrijecedores (ENT); anéis (AST) de formato cilíndrico com ressalto (AST-1) de formato circular e com orifícios (AST-2) distribuídos simetricamente parede externa e fixado nos amortecedores (AMT) e tangente aos enrijecedores (ENT); e massas oscilante (MOT) de formato cilíndrico oco, com orifício (MOT-1) de formato circular no centro da face frontal, orifícios (MOT-2) de formato circular distribuídos simetricamente em nos dois setores anelares de amortecimento; formando um arranjo composto de um único pedestal (PDT), um único rolamento (RM), um único anel (AIT) complementado por um conjunto de amortecedores (AMT) a direita do pedestal (PDT) e um conjunto de amortecedores (AMT) a esquerda do pedestal (PDT); de um conjunto de enrijecedores (ENT) a direita do pedestal (PDT) e um conjunto de enrijecedores (ENT) a esquerda do pedestal (PDT); um anel (ATT) a direita do pedestal (PDT) e um anel (ATT) a esquerda do pedestal (PDT); um anel (AST) a direita do pedestal (PDT) e um anel (AST) a esquerda do pedestal (PDT); e uma massa oscilante (MOT) a direita do pedestal (PDT) e uma massa oscilante (MOT) a esquerda do pedestal (PDT).

[095] 3. O suporte de amortecimento de translação combinado com o de rotação é constituído de pedestal (PDC) de formato anelar, com orifício (PDC-1) de formato circular escalonado no centro da face e com orifícios (PDC-2) de formato circular na parede externa e encaixado nos amortecedores (AMT), os enrijecedores (ENT) posicionados no segundo setor anelar de amortecimento, no anel (AS); amortecedor (AMT) dotado de suportes laterais (AMT-1) de formato prismático retangular côncavo com orifícios (AMT-1-A) de formato circular na parte externa e posicionados nas extremidades, suporte intermediário (AMT-4) de formato prismático em “U” com orifícios (AMT-4-A) de formato circular nas extremidades formando um conjunto duplo de camadas intercaladas de chapas metálicas (AMT-2) de formato circular e de mantas de material viscoelástico (AMT-3) de formato circular que se unem com os suportes laterais (AMT-1) e com as chapas metálicas (AMT-2) por vulcanização em forma de sanduíche e sendo as chapas (AMT-2) e camadas (AMT-3) posicionados entre os suportes laterais (AMT-1) e o suporte intermediário (AMT-4), com os amortecedores (AMT) distribuídos simetricamente em relação ao eixo motor e radialmente em duas posições, no primeiro setor anelar de amortecimento de translação fixados aos anéis (AIC) e (AF) e no segundo setor anelar de amortecimento fixados no anel (AS) e pedestal (PDC); enrijecedores (ENT) dotado de suporte central (ENT-4) de formato prismático em “U” formando um conjunto duplo de hastes com esferas nas pontas (ENT-1) tipo metálica, de posicionadores (ENT-2) de formato prismático retangular côncavo, com orifícios (ENT-2-A) de formato circular cônico na face e de base (ENT-3) de formato prismático retangular côncavo e com enrijecedores (ENT) distribuídos simetricamente e paralelamente em relação ao centro do eixo motor e fixados no anel (AIC), no anel (ATC) e no pedestal (PDC); rolamento (RM) tipo radial fixo ou similar encaixado no anel (AIC); anel (AIC) de formato cilíndrico com ressalto (AIC-

1) de formato circular e orifícios (AIC-2) de formato circular nas paredes externas do corpo e fixado no rolamento (RM), e no primeiro raio de amortecedores (AMT) e de enrijecedores (ENT); anel (ATC) de formato cilíndrico com rebaixos (ATC-1) de formato retangular distribuídos simetricamente ao centro, e orifícios (ATC-2) de formato circular distribuídos simetricamente ao centro em dois raios nas faces e fixado nos dois setores de amortecedores (AMR) e de enrijecedores (ENR); amortecedores rotativos (AMR) dotado de um conjunto composto de suporte superior (AMR-1) de formato prismático retangular côncavo com orifícios (AMR-1-A) de formato circular e com canaleta (AMR-1-B) de formato retangular na parte superior do corpo, e com suporte inferior (AMR-2) de formato prismático retangular com orifícios (AMR-2-A) de formato circular na face frontal e com canaleta (AMR-2-B) de formato retangular na parte inferior do corpo, posicionados nas extremidades, e composto de camadas intercaladas no centro de chapas metálicas (AMR-4) de formato prismático retangular côncavo convexas e de mantas de material viscoelástico (AMR-3) de formato prismático retangular côncavo convexas que se unem com o suporte superior (AMR-1), o suporte inferior (AMR-2) e as chapas metálicas (AMR-4) por vulcanização em forma de sanduíche, com os amortecedores (AMR) distribuídos simetricamente em relação ao centro do eixo motor e radialmente em duas posições radiais de amortecimento rotativo sendo os amortecedores (AMR) do primeiro setor anelar fixados nos amortecedores de translação (AMT) e ao anel (ATC), e os amortecedores (AMR) do segundo setor anelar fixados nos amortecedores de translação (AMT) e aos anéis (ATC) e (AS); enrijecedores (ENR) dotado de suporte superior (ENR-1) de formato prismático retangular com face inferior côncava, de roletes (ENR-2) de formato cilíndrico posicionados na canaleta (ENR-3-A), e de suporte inferior (ENR-3) de formato prismático retangular com face superior côncavo convexa, com canal (ENR-3-A) de formato

retangular, com os enrijecedores posicionados simetricamente em relação centro do eixo motor e radialmente em duas posições e fixados no anel (ATC), no anel (AS) e nos amortecedores de translação (AMT);anel (AS) de formato circular com orifícios (AS-1) distribuídos simetricamente ao centro na face frontal e na parede interna e fixado no segundo setor anelar de amortecimento de translação (AMT);anel (AF) de formato circular com orifícios (AF-1) distribuídos simetricamente ao centro nas faces externas e fixado no primeiro setor anelar de amortecimento de translação (AMT); massa oscilante (MOC) de formato cilíndrico oco com orifício (MOC-1) de formato circular no centro da face frontal e com orifícios (MOC-2) de formato circular distribuídos em linhas retas simetricamente ao centro da peça e fixado no anel (ATC).

[096] 4. O suporte de amortecimento rotacional combinado com o translacional constituído de pedestal (PDA) de formato anelar com ressalto (PDA-1) de formato circular com orifício (PDA-1-A) de formato circular no centro e com orifícios (PDA-1-A) de formato circular nas bordas e fixado nos enrijecedores (ENR) e nos amortecedores (AMR) posicionados no segundo setor anelar de amortecimento; de anel (AIR) de formato circular com seção transversal retangular, com orifícios de resfriamento (AIR-1) de formato circular posicionados simetricamente na parte externa da peça, com rebaixos (AIR-2) de formato semianelar e de cantos arredondados posicionado simetricamente ao centro e fixado no rolamento (RM) e no primeiro setor anelar de amortecimento dos amortecedores (AMR) e dos enrijecedores (ENR); de enrijecedores (ENR) dotado de suporte superior (ENR-1) de formato prismático retangular com face inferior côncava, de roletes (ENR-2) de formato cilíndrico posicionados na canaleta (ENR-3-A), e de suporte inferior (ENR-3) de formato prismático retangular com face superior côncavo convexa, com canal (ENR-3-A) de formato retangular, com os enrijecedores posicionados simetricamente em relação centro do eixo motor e radialmente

em duas posições e fixados entre os anéis (AIR) e (ASA) no primeiro setor anelar de amortecimento rotativo, e fixados entre o anel (ATA) e o pedestal (PDA); de amortecedores rotativos (AMR) dotado de um conjunto composto de suporte superior (AMR-1) de formato prismático retangular com face inferior côncava com orifícios (AMR-1-A) de formato circular e de suporte inferior (AMR-2) de formato prismático retangular com face superior convexa com orifícios (AMR-2-A) de formato circular e posicionados nas extremidades e composto de camadas intercaladas no centro de chapas metálicas (AMR-4) de formato retangular côncavo convexo e de mantas de material viscoelástico (AMR-3) de formato prismático retangular côncavo convexo que se une com o suporte superior (AMR-1), o suporte inferior (AMR-2) e as chapas metálicas (AMR-4) por vulcanização em forma de sanduíche, com os amortecedores (AMR) distribuídos simetricamente em relação ao centro do eixo motor e radialmente em duas posições e fixados no pedestal (PDA), no anel (ATA), no anel (ASA), e no anel (AIR); de anel (ASA) de formato cilíndrico com ressalto (ASA-1) de formato circular e com orifícios (ASA-1-A) de formato circular na parede externa do ressalto (ASA-1) e encaixado no primeiro setor anelar de amortecimento dos amortecedores rotativos (AMR) e dos enrijecedores (ENR), e no primeiro setor anelar de amortecimento dos amortecedores de translação (AMT) e dos enrijecedores (ENT); de amortecedores de translação (AMT) dotado de suportes laterais (AMT-1) de formato prismático côncavo em “L” com orifícios (AMT-1-A) de formato circular na parte externa e posicionados nas extremidades e de chapas metálicas (AMT-2) de formato circular e de camadas intercaladas de material viscoelástico (AMT-3) de formato circular que se une com os suportes laterais (AMT-1) e com as chapas metálicas (AMT-2) por vulcanização em forma de sanduíche e sendo as chapas (AMT-2) e camadas de material viscoelástico (AMT-3) posicionados entre os suportes laterais (AMT-1), com os

amortecedores (AMT) distribuídos simetricamente em relação ao centro do eixo motor e radialmente em duas posições e cada um deles fixados no anel (ASA), no anel (ATA), no anel (AFA); de enrijecedores (ENT) cada um dotado de esferas (ENT-1) tipo metálica, de posicionadores (ENT-2) de formato prismático retangular côncavo, com orifícios (ENT-2-A) de formato circular cônico na face e de base (ENT-3) de formato prismático retangular côncavo, com os enrijecedores (ENT) distribuídos simetricamente e paralelamente em relação ao centro do eixo motor e cada um deles fixado no anel (ASA), no anel (ATA), e no anel (AFA); de anel (ATA) de formato circular vasado com orifícios (ATA-1) de formato circular na parede externa e encaixado no segundo setor anelar de amortecimento dos amortecedores rotativos (AMR) e dos enrijecedores (ENR) e no segundo setor anelar de amortecimento dos amortecedores rotativos (AMT) e dos enrijecedores (ENT); de anel (AFA) de formato circular vazado com orifícios (AFA-1) distribuídos simetricamente ao centro do corpo e fixado no primeiro e segundo setor anelar de amortecimento dos amortecedores de translação (AMT) e nos enrijecedores (ENT); de massa oscilante (MOA) de formato cilíndrico oco, com orifício (MOA-1) de formato circular no centro da face frontal, orifícios (MOA-2) de formato circular distribuídos simetricamente ao centro do corpo e fixado no anel (AFA).

[097] Opcionalmente os suportes de translação, combinado de rotação com translação e o combinado de translação com rotação utilizam enrijecedores (ENT) que em sua composição adota-se esferas (ENT-1) podendo ser substituída por enrijecedores (ENP) dotado de base superior (ENP-1) de formato retangular prismático com recortes (ENP-1-A) de formato semiesférico na parte inferior e com orifícios (ENP-1-B) de formato circular nas extremidades das faces, de base (ENP-2) de formato retangular prismático com recortes (ENP-2-A) de formato semiesférico na parte superior e com

orifícios (ENP-2-B) de formato circular nas extremidades das faces e de pino articulado (ENP-3) de formato cilíndrico com ressaltos (ENP-3) de formato esférico nas extremidades.

[098] Opcionalmente os suportes de translação, rotação, combinado de rotação com translação e o combinado de translação com rotação utilizam nos amortecedores um sanduiche de material viscoelástico (AMT-3) ou (AMR-3) e chapas metálicas (AMT-3) ou (AMR-4), podendo-se ser retirado essa forma apresentada de sanduiche e dotando uma forma inteiriço de material viscoelástico (AMT-2) ou (AMT-3) de formato maciço.

[099] O processo de funcionamento do suporte da presente patente se dá seguinte forma:

[0100] Ao ser iniciado o movimento rotativo do eixo da máquina rotativa gera-se os movimentos vibratórios de rotação e translação, em relação aos eixos ortogonais ao eixo axial da máquina, gerando uma amplitude máxima ao atingir os valores de frequência correspondentes às rotações críticas da máquina; a partir desse momento os movimentos vibratórios de rotação e/ou translação são transmitidos ao primeiro setor anelar de amortecimento, com amortecedores (AMR) e/ou (AMT) e com enrijecedores (ENR) e/ou (ENT) e/ou (EMP) que suportam carregamentos de translação, no caso dos enrijecedores (ENR) ou rotação no caso dos enrijecedores (ENT) e (ENP), oriundos da vibração transmitida do eixo da máquina rotativa, garantindo que somente o deslocamento vibratório desejado (translação ou rotação), de acordo com o tipo de suporte, seja transmitido aos amortecedores (AMT) e/ou (AMR), garantindo em conjunto com o formato dos amortecedores (AMR) e/ou (AMT), uma condição de cisalhamento puro nas mantas de material viscoelástico dos amortecedores (AMT) e (AMR), esse movimento de cisalhamento puro nos amortecedores (AMT) e (AMR) garante o máximo aproveitamento da capacidade de dissipação de energia vibratória

disponibilizada pelos materiais viscoelásticos, os amortecedores (AMR) e (AMT) dissipam grande parte da energia vibratória e transmite o restante dessa energia vibratória à massa oscilante (MOR ou MOT ou MOC ou MOA) que está fixa aos dois setores anelares de amortecimento e assim desloca-se de acordo com o grau de liberdade do suporte, que pode ser rotação, translação ou combinação dos dois graus de liberdade de rotação e translação, ambos sempre relativos ao eixos transversais ao eixo da máquina rotativa, o movimento oscilatório da massa oscilante sintonizada em conjunto com os amortecedores (AMR) e/ou (AMT) contribui para a redução das amplitudes de vibração do eixo da máquina, que por sua vez transmite a vibração ao segundo setor anelar de amortecimento, que dissipa grande parte da energia vibratória recebida e transmite o restante dessa energia ao pedestal e conseqüentemente ao meio, neste caso já bastante atenuada.

[0101] O processo de montagem do suporte da presente patente ocorre da seguinte forma:

[0102] 1. Suporte de amortecimento rotacional:

[0103] 1.a) Encaixa-se o rolamento (RM) no interno do anel (AIR);

[0104] 1.b) Encaixa-se os enrijecedores (ENR) e os amortecedores (AMR) na parede externa no anel (AIR) fixando-os de forma intercalada formando o primeiro raio de amortecimento;

[0105] 1.c) Encaixa-se a face interna do anel (ATR) sobre a face externa dos componentes (AMR) e (ENR) do primeiro raio de amortecimento;

[0106] 1.d) Encaixa-se os enrijecedores (ENR) e os amortecedores (AMR) na parede externa no anel (ATR) de forma intercalada formando o segundo raio de amortecimento;

[0107] 1.e) Encaixa-se o conjunto à face interna do pedestal (PDR) e fixa-se os amortecedores (AMR) e os enrijecedores (ENR) do segundo raio de amortecimento;

[0108] 1.f) Fixa-se os fixadores (SP) aos amortecedores rotativos (AMR); e

[0109] 1.g) Fixa-se à esquerda e à direita do anel (ATR) a massa oscilante (MOR).

[0110] 2. Suporte de amortecimento translacional:

[0111] 2.a) Encaixa-se o rolamento (RM) no interior do anel (AIT)

[0112] 2.b) Fixa-se em ambas as laterais do anel (AIT) o primeiro raio de amortecedores (AMT);

[0113] 2.c) Fixa-se o anel (ATT) na outra lateral dos amortecedores (AMT);

[0114] 2.d) Encaixa-se nos interstícios entre o anel (AIT) e o anel (ATT) os enrijecedores (ENT);

[0115] 2.e) Fixa-se em ambas as laterais do pedestal (PDT) o segundo raio de amortecedores (AMT);

[0116] 2.f) Fixa-se o anel (AST) na outra lateral dos amortecedores (AMT);

[0117] 2.g) Encaixa-se nos interstícios entre o anel (AST) e o pedestal (PDT) os enrijecedores (ENT);

[0118] 2.e) Fixa-se as massas (MOT) em ambos os lados aos anéis (ATT) e (AST);

[0119] 3. Suporte de amortecimento combinado translação e rotação:

[0120] 3.a) Fixa-se no interior do pedestal (PDC) o segundo raio de amortecedores (AMT) e de enrijecedores (ENT)

[0121] 3.b) Encaixa-se o rolamento (RM) no interior do anel (AIC);

[0122] 3.c) Fixa-se na parede externa do anel (AIC) o primeiro raio de amortecedores (AMT) e de enrijecedores (ENT);

[0123] 3.d) Fixa-se no interior do anel (ATC) o primeiro raio de amortecedores (AMR) e de enrijecedores (ENR);

[0124] 3.e) Encaixa-se na parede externa do anel (ATC) o segundo raio de amortecedores (AMR) e de enrijecedores (ENR);

[0125] 3.f) Encaixa-se os conjuntos de amortecimento rotacional nas faces internas dos amortecedores (AMT) e enrijecedores (ENR) do segundo raio de amortecimento de translação;

[0126] 3.g) Fixa-se os amortecedores (AMR) do segundo raio de amortecimento rotativo aos amortecedores de translação (AMT) do segundo raio de amortecimento de translação;

[0127] 3.h) Encaixa-se o conjunto de primeiro raio de amortecimento de translação nas faces internas dos elementos do primeiro raio de amortecimento rotativo (AMR) e (ENR);

[0128] 3.i) Fixa-se os amortecedores do primeiro raio de amortecimento de translação (AMT) aos amortecedores rotativos do primeiro raio (AMR);

[0129] 3.j) Fixa-se os anéis (AF) e (AS) aos amortecedores de translação (AMT) do primeiro raio e aos amortecedores de translação (AMT) do segundo raio, respectivamente, em ambos os lados; e

[0130] 3.1) Fixa-se ao anel (ATC) as massas (MOC) em ambos os lados.

[0131] 4. Suporte de amortecimento combinado rotação e translação:

[0132] 4.a) Encaixa-se o rolamento (RM) no interior do anel (AIR);

[0133] 4.b) Encaixa-se o primeiro raio de amortecedores (AMR) e de enrijecedores (ENR) na parede externa do anel (AIR);

[0134] 4.c) Encaixa-se o anel (ASA) nas paredes externas do primeiro raio de amortecedores (AMR) e de enrijecedores (ENR);

[0135] 4.d) Fixa-se o primeiro raio de amortecedores (AMT) e de enrijecedores (ENT) em ambos os lados do anel (ASA) formando o primeiro conjunto de amortecimento;

[0136] 4.e) Fixa-se o segundo raio de amortecedores rotativos (AMR) e enrijecedores (ENR) na face interna do pedestal (PDA);

[0137] 4.f) Encaixa-se o anel (ATA) na face interna dos amortecedores rotativos (AMR) e enrijecedores (ENR) do segundo raio;

[0138] 4.g) Fixa-se no rebaixo interno do anel (ATA), em ambos os lados, o segundo raio de amortecedores (AMT) formando o segundo conjunto de amortecedores;

[0139] 4.h) Alinha-se o primeiro conjunto de amortecedores ao segundo conjunto de amortecedores;

[0140] 4.i) Une-se ambos os conjuntos através da fixação do anel (AFA) aos amortecedores (AMT) em ambos os lados; e

[0141] 4.j) Fixa-se as massas oscilantes (MOA) em ambos os lados do anel (AFA).

REIVINDICAÇÕES

1. **“SUPORTE VISCOELÁSTICO COM MASSA OSCILANTE PARA CONTROLE DE VIBRAÇÕES EM MÁQUINAS ROTATIVAS”**, , caracterizado por, suporte de amortecimento rotacional constituído de pedestal (PDR) de formato anelar com seção transversal retangular com dois ressaltos (PDR-1) de formato circular e com orifícios (PDR-1-A) de formato circular no costado e fixado nos enrijecedores (ENR) posicionados no segundo setor anelar de amortecimento, nos amortecedores (AMR) e encaixado na massa oscilante (MOR); rolamento (RM) tipo radial fixo ou similar encaixado no anel (AIR); anel (AIR) de formato circular com seção transversal retangular, com orifícios de resfriamento (AIR-1) de formato circular posicionados simetricamente na parte externa da peça, com rebaixos (AIR-2) de formato semianelar e de cantos arredondados posicionado simetricamente ao centro e fixado no rolamento (RM) e no primeiro setor anelar de amortecimento dos amortecedores (AMR) e dos enrijecedores (ENR); enrijecedores (ENR) dotado de suporte superior (ENR-1) de formato prismático retangular côncavo, de roletes (ENR-2) de formato cilíndrico posicionados na canaleta (ENR-3-A) e de suporte inferior (ENR-3) de formato prismático retangular côncavo, com canal (ENR-3-A) de formato retangular, com os enrijecedores posicionados simetricamente e radialmente em duas posições em relação centro do eixo motor e fixados no pedestal (PDR), no anel (AIR) e no anel (ATR); amortecedores rotativos (AMR) dotado de um conjunto composto de suporte superior(AMR-1) de formato prismático retangular côncavo com orifícios (AMR-1-A) de formato circular e de suporte inferior (AMR-2) de formato prismático retangular convexo com orifícios (AMR-2-A) de formato circular na face frontal posicionados nas extremidades e composto de camadas

metálicas (AMR-4) de formato prismático côncavo-convexas intercaladas com camadas de material visco-elástico (AMR-3) formato prismático côncavo-convexas de que se une com o suporte superior (AMR-1), o suporte inferior (AMR-2) e as chapas metálicas (AMR-4) por vulcanização em forma de sanduíche, os amortecedores (AMR) são distribuídos simetricamente em circunferência e radialmente em duas posições em relação ao centro do eixo motor e fixados no pedestal (PDR), no anel (AIR), no anel (ATR) e nos suportes (SP); anel (ATR) de formato circular com seção transversal retangular e com orifícios (ATR-1) de formato circular na parede externa e fixado nos enrijecedores (ENR), nos amortecedores (AMR) e na massa oscilante (MOR); fixadores (SP) em formato de setor circular, com orifícios (SP-1) de formato circular na face frontal e fixado nos amortecedores (AMR); e massa oscilante (MOR) de formato cilíndrico oco, com orifício (MOR-1) de formato circular no centro da face frontal e com orifícios (MOR-2) de formato circular distribuídos simetricamente em relação ao centro encaixado no pedestal (PDR) e fixado no anel (ATR).

2. “SUPORTE VISCOELÁSTICO COM MASSA OSCILANTE PARA CONTROLE DE VIBRAÇÕES EM MÁQUINAS ROTATIVAS”, , caracterizado por, suporte de amortecimento translacional constituído de um pedestal (PDT) de formato anelar com ressalto (PDT-1) de formato cilíndrico escalonado com orifícios (PDT-1-A) de formato circular no costado e fixado nos amortecedores de translação (AMT) localizados no segundo raio de amortecimento e distribuídos simetricamente ao longo da circunferência do costado, e fixado nos enrijecedores (ENT) também localizados no segundo setor anelar de amortecimento e distribuídos simetricamente na circunferência do costado; um rolamento (RM) tipo radial fixo ou autocompensador inserido no anel (AIT); um anel (AIT) de formato cilíndrico com ressalto (AIT-1) de formato circular nas duas faces e com

orifícios (AIT-2) de formato circular distribuídos simetricamente no costado e fixado nos amortecedores de translação (AMT) posicionados no primeiro setor anelar de amortecimento e nos enrijecedores (ENT) posicionados no primeiro setor anelar de amortecimento ambos distribuídos simetricamente ao longo da circunferência; conjuntos de amortecedores de translação (AMT) dotado cada um de, suportes laterais (AMT-1) de formato prismático em “L” côncavo com orifícios (AMT-1-A) de formato circular na parte externa e posicionados nas extremidades, e de chapas metálicas (AMT-2) de formato circular intercaladas em camadas com mantas de material viscoelástico (AMT-3) de formato circular que se une com os suportes laterais (AMT-1) e com as chapas metálicas (AMT-2) por vulcanização em forma de sanduíche, com os amortecedores (AMT) distribuídos simetricamente e radialmente em duas posições em relação ao centro do eixo motor, os do primeiro setor anelar fixam-se aos anéis (AIT) e (ATT), os do segundo setor anelar fixam-se ao anel (AST) e ao pedestal (PDT); conjuntos de enrijecedores (ENT) cada um dotado de esferas (ENT-1) tipo metálica, de posicionadores (ENT-2) de formato prismático retangular côncavo, com orifícios (ENT-2-A) de formato circular esférico na face, e de bases (ENT-3) de formato prismático retangular côncavo, com cada conjunto de enrijecedores (ENT) distribuídos simetricamente e paralelamente em relação ao centro do eixo motor, sendo os do primeiro setor anelar de amortecimento tangentes aos anéis (AIT) e (ATT) e os do segundo setor anelar de amortecimento tangentes aos anéis (AST) e (PDT); anéis (ATT) de formato cilíndrico com ressalto (ATT-1) de formato circular e com orifícios (ATT-2) distribuídos simetricamente na parede externa e fixado nos amortecedores (AMT) e tangente aos enrijecedores (ENT); anéis (AST) de formato cilíndrico com ressalto (AST-1) de formato circular e com orifícios (AST-2) distribuídos simetricamente parede externa e fixado nos amortecedores (AMT) e tangente aos enrijecedores (ENT); e

massas oscilante (MOT) de formato cilíndrico oco, com orifício (MOT-1) de formato circular no centro da face frontal, orifícios (MOT-2) de formato circular distribuídos simetricamente em nos dois raios de amortecimento; formando um arranjo composto de um único pedestal (PDT), um único rolamento (RM), um único anel (AIT) complementado por um conjunto de amortecedores (AMT) a direita do pedestal (PDT) e um conjunto de amortecedores (AMT) a esquerda do pedestal (PDT); de um conjunto de enrijecedores (ENT) a direita do pedestal (PDT) e um conjunto de enrijecedores (ENT) a esquerda do pedestal (PDT); um anel (ATT) a direita do pedestal (PDT) e um anel (ATT) a esquerda do pedestal (PDT); um anel (AST) a direita do pedestal (PDT) e um anel (AST) a esquerda do pedestal (PDT); e uma massa oscilante (MOT) a direita do pedestal (PDT) e uma massa oscilante (MOT) a esquerda do pedestal (PDT).

3. “SUPORTE VISCOELÁSTICO COM MASSA OSCILANTE PARA CONTROLE DE VIBRAÇÕES EM MÁQUINAS ROTATIVAS”, , caracterizado por, suporte de amortecimento de translação combinado com o de rotação é constituído de pedestal (PDC) de formato anelar, com orifício (PDC-1) de formato circular escalonado no centro da face e com orifícios (PDC-2) de formato circular na parede externa e encaixado nos amortecedores (AMT), nos enrijecedores (ENT) posicionados no segundo setor anelar de amortecimento, no anel (AS); amortecedor (AMT) dotado de suportes laterais (AMT-1) de formato prismático retangular côncavo com orifícios (AMT-1-A) de formato circular na parte externa e posicionados nas extremidades, suporte intermediário (AMT-4) de formato prismático em “U” com orifícios (AMT-4-A) de formato circular nas extremidades formando um conjunto duplo de camadas intercaladas de chapas metálicas (AMT-2) de formato circular e de mantas de material viscoelástico (AMT-3) de formato circular que se unem com os suportes laterais (AMT-1)

e com as chapas metálicas (AMT-2) por vulcanização em forma de sanduíche e sendo as chapas (AMT-2) e camadas (AMT-3) posicionados entre os suportes laterais (AMT-1) e o suporte intermediário (AMT-4), com os amortecedores (AMT) distribuídos simetricamente em relação ao eixo motor e radialmente em duas posições, no primeiro setor anelar de amortecimento de translação fixados aos anéis (AIC) e (AF) e no segundo setor anelar de amortecimento fixados no anel (AS) e pedestal (PDC); enrijecedores (ENT) dotado de suporte central (ENT-4) de formato prismático em “U” formando um conjunto duplo de hastes com esferas nas pontas (ENT-1) tipo metálica, de posicionadores (ENT-2) de formato prismático retangular côncavo, com orifícios (ENT-2-A) de formato circular cônico na face e de base (ENT-3) de formato prismático retangular côncavo e com enrijecedores (ENT) distribuídos simetricamente e paralelamente em relação ao centro do eixo motor e fixados no anel (AIC), no anel (ATC) e no pedestal (PDC); rolamento (RM) tipo radial fixo ou similar encaixado no anel (AIC); anel (AIC) de formato cilíndrico com ressalto (AIC-1) de formato circular e orifícios (AIC-2) de formato circular nas paredes externas do corpo e fixado no rolamento (RM), e no primeiro setor anelar de amortecimento de amortecedores (AMT) e de enrijecedores (ENT); anel (ATC) de formato cilíndrico com rebaixos (ATC-1) de formato retangular distribuídos simetricamente ao centro, e orifícios (ATC-2) de formato circular distribuídos simetricamente ao centro em dois raios nas faces e fixado nos dois setores anelares de amortecimento de amortecedores (AMR) e de enrijecedores (ENR); amortecedores rotativos (AMR) dotado de um conjunto composto de suporte superior (AMR-1) de formato prismático retangular côncavo com orifícios (AMR-1-A) de formato circular e com canaleta (AMR-1-B) de formato retangular na parte superior do corpo, e com suporte inferior (AMR-2) de formato prismático retangular com orifícios (AMR-2-A) de formato circular na face frontal e com canaleta

(AMR-2-B) de formato retangular na parte inferior do corpo, posicionados nas extremidades, e composto de camadas intercaladas no centro de chapas metálicas (AMR-4) de formato prismático retangular côncavo convexas e de mantas de material viscoelástico (AMR-3) de formato prismático retangular côncavo convexas que se unem com o suporte superior (AMR-1), o suporte inferior (AMR-2) e as chapas metálicas (AMR-4) por vulcanização em forma de sanduíche, com os amortecedores (AMR) distribuídos simetricamente em relação ao centro do eixo motor e radialmente em duas posições radiais de amortecimento rotativo sendo os amortecedores (AMR) do primeiro raio fixados nos amortecedores de translação (AMT) e ao anel (ATC), e os amortecedores (AMR) do segundo setor anelar de amortecimento fixados nos amortecedores de translação (AMT) e aos anéis (ATC) e (AS); enrijecedores (ENR) dotado de suporte superior (ENR-1) de formato prismático retangular com face inferior côncava, de roletes (ENR-2) de formato cilíndrico posicionados na canaleta (ENR-3-A), e de suporte inferior (ENR-3) de formato prismático retangular com face superior côncavo convexas, com canal (ENR-3-A) de formato retangular, com os enrijecedores (ENR) posicionados simetricamente em relação centro do eixo motor e radialmente em duas posições e fixados no anel (ATC), no anel (AS) e nos amortecedores de translação (AMT); anel (AS) de formato circular com orifícios (AS-1) distribuídos simetricamente ao centro na face frontal e na parede interna e fixado no segundo setor anelar de amortecimento de translação (AMT); anel (AF) de formato circular com orifícios (AF-1) distribuídos simetricamente ao centro nas faces externas e fixado no primeiro setor anelar de amortecimento de amortecedores de translação (AMT); massa oscilante (MOC) de formato cilíndrico oco com orifício (MOC-1) de formato circular no centro da face frontal e com orifícios (MOC-2) de formato circular distribuídos em linhas retas simetricamente ao centro da peça e fixado no anel (ATC).

4. “SUPORTE VISCOELÁSTICO COM MASSA OSCILANTE PARA CONTROLE DE VIBRAÇÕES EM MÁQUINAS ROTATIVAS”, , caracterizado por, suporte de amortecimento rotacional combinado com o translacional constituído de pedestal (PDA) de formato anelar com ressalto (PDA-1) de formato circular com orifício (PDA-1-A) de formato circular no centro e com orifícios (PDA-1-A) de formato circular nas bordas e fixado nos enrijecedores (ENR) e nos amortecedores (AMR) posicionados no segundo setor anelar de amortecimento; de anel (AIR) de formato circular com seção transversal retangular, com orifícios de resfriamento (AIR-1) de formato circular posicionados simetricamente na parte externa da peça, com rebaixos (AIR-2) de formato semianelar e de cantos arredondados posicionado simetricamente ao centro e fixado no rolamento (RM) e no primeiro setor anelar de amortecimento dos amortecedores (AMR) e dos enrijecedores (ENR); de enrijecedores (ENR) dotado de suporte superior (ENR-1) de formato prismático retangular com face inferior côncava, de roletes (ENR-2) de formato cilíndrico posicionados na canaleta (ENR-3-A), e de suporte inferior (ENR-3) de formato prismático retangular com face superior côncavo convexa, com canal (ENR-3-A) de formato retangular, com os enrijecedores (ENR) posicionados simetricamente em relação centro do eixo motor e radialmente em duas posições e fixados entre os anéis (AIR) e (ASA) no primeiro setor anelar de amortecimento rotativo, e fixados entre o anel (ATA) e o pedestal (PDA); de amortecedores rotativos (AMR) dotado de um conjunto composto de suporte superior (AMR-1) de formato prismático retangular com face inferior côncava com orifícios (AMR-1-A) de formato circular e de suporte inferior (AMR-2) de formato prismático retangular com face superior convexa com orifícios (AMR-2-A) de formato circular e posicionados nas extremidades e composto de camadas intercaladas no centro de chapas metálicas (AMR-4) de formato retangular

côncavo convexo e de mantas de material viscoelástico (AMR-3) de formato prismático retangular côncavo convexo que se une com o suporte superior (AMR-1), o suporte inferior (AMR-2) e as chapas metálicas (AMR-4) por vulcanização em forma de sanduíche, com os amortecedores (AMR) distribuídos simetricamente em relação ao centro do eixo motor e radialmente em duas posições e fixados no pedestal (PDA), no anel (ATA), no anel (ASA), e no anel (AIR); de anel (ASA) de formato cilíndrico com ressalto (ASA-1) de formato circular e com orifícios (ASA-1-A) de formato circular na parede externa do ressalto (ASA-1) e encaixado no primeiro setor anelar de amortecimento dos amortecedores rotativos (AMR) e dos enrijecedores (ENR), e no primeiro setor anelar de amortecimento dos amortecedores de translação (AMT) e dos enrijecedores (ENT); de amortecedores de translação (AMT) dotado de suportes laterais (AMT-1) de formato prismático côncavo em “L” com orifícios (AMT-1-A) de formato circular na parte externa e posicionados nas extremidades e de chapas metálicas (AMT-2) de formato circular e de camadas intercaladas de material viscoelástico (AMT-3) de formato circular que se une com os suportes laterais (AMT-1) e com as chapas metálicas (AMT-2) por vulcanização em forma de sanduíche e sendo as chapas (AMT-2) e camadas de material viscoelástico (AMT-3) posicionados entre os suportes laterais (AMT-1), com os amortecedores (AMT) distribuídos simetricamente em relação ao centro do eixo motor e radialmente em duas posições e cada um deles fixados no anel (ASA), no anel (ATA), no anel (AFA); de enrijecedores (ENT) cada um dotado de esferas (ENT-1) tipo metálica, de posicionadores (ENT-2) de formato prismático retangular côncavo, com orifícios (ENT-2-A) de formato circular cônico na face e de base (ENT-3) de formato prismático retangular côncavo, com os enrijecedores (ENT) distribuídos simetricamente e paralelamente em relação ao centro do eixo motor e cada um deles fixado no anel (ASA), no anel (ATA), e no anel

(AFA); de anel (ATA) de formato circular vasado com orifícios (ATA-1) de formato circular na parede externa e encaixado no segundo setor anelar de amortecimento dos amortecedores rotativos (AMR) e dos enrijecedores (ENR) e no segundo setor anelar de amortecimento dos amortecedores rotativos (AMT) e dos enrijecedores (ENT); de anel (AFA) de formato circular vazado com orifícios (AFA-1) distribuídos simetricamente ao centro do corpo e fixado no primeiro e segundo setor anelar de amortecimento dos amortecedores de translação (AMT) e nos enrijecedores (ENT); de massa oscilante (MOA) de formato cilíndrico oco, com orifício (MOA-1) de formato circular no centro da face frontal, orifícios (MOA-2) de formato circular distribuídos simetricamente ao centro do corpo e fixado no anel (AFA).

5. “SUPORTE VISCOELÁSTICO COM MASSA OSCILANTE PARA CONTROLE DE VIBRAÇÕES EM MÁQUINAS ROTATIVAS”, de acordo com qualquer uma das reivindicações 2, 3 ou 4, caracterizado por, opcionalmente os suportes de translação, combinado de rotação com translação e o combinado de translação com rotação utilizam enrijecedores (ENT) que em sua composição adota-se esferas (ENT-1) podendo ser substituída por enrijecedores (ENP) dotado de base superior (ENP-1) de formato retangular prismático com recortes (ENP-1-A) de formato semiesférico na parte inferior e com orifícios (ENP-1-B) de formato circular nas extremidades das faces, de base (ENP-2) de formato retangular prismático com recortes (ENP-2-A) de formato semiesférico na parte superior e com orifícios (ENP-2-B) de formato circular nas extremidades das faces e de pino articulado (ENP-3) de formato cilíndrico com ressaltos (ENP-3) de formato esférico nas extremidades.

6. “SUPORTE VISCOELÁSTICO COM MASSA OSCILANTE PARA CONTROLE DE VIBRAÇÕES EM MÁQUINAS ROTATIVAS”, de acordo com qualquer uma das

reivindicações 1, 2, 3 ou 4, caracterizado por, opcionalmente os suportes de translação, rotação, combinado de rotação com translação e o combinado de translação com rotação utilizam nos amortecedores um sanduiche de material viscoelástico (AMT-3) ou (AMR-3) e chapas metálicas (AMT-3) ou (AMR-4), podendo-se ser retirado essa forma apresentada de sanduiche e dotando uma forma inteiriço de material viscoelástico (AMT-2) ou (AMT-3) de formato maciço.

7. MÉTODO DE CONTROLE DE VIBRAÇÕES EM MÁQUINAS ROTATIVAS, sendo o método caracterizado por empregar um suporte viscoelástico com massa oscilante conforme definido em qualquer uma das reivindicações precedentes e por compreender a seguinte sequência: Ao ser iniciado o movimento rotativo do eixo da máquina rotativa gera-se os movimentos vibratórios de rotação e translação, em relação aos eixos ortogonais ao eixo axial da máquina, gerando uma amplitude máxima ao atingir os valores de frequência correspondentes às rotações críticas da máquina; a partir desse momento os movimentos vibratórios de rotação e/ou translação são transmitidos ao primeiro setor anelar de amortecimento, com amortecedores (AMR) e/ou (AMT) e com enrijecedores (ENR) e/ou (ENT) e/ou (EMP) que suportam carregamentos de translação, no caso dos enrijecedores (ENR) ou rotação no caso dos enrijecedores (ENT) e (ENP), oriundos da vibração transmitida do eixo da máquina rotativa, garantindo que somente o deslocamento vibratório desejado (translação ou rotação), de acordo com o tipo de suporte, seja transmitido aos amortecedores (AMT) e/ou (AMR), garantindo em conjunto com o formato dos amortecedores (AMR) e/ou (AMT), uma condição de cisalhamento puro nas mantas de material viscoelástico dos amortecedores (AMT) e (AMR), esse movimento de cisalhamento puro nos amortecedores (AMT) e (AMR) garante o máximo aproveitamento da capacidade de dissipação de energia vibratória

disponibilizada pelos materiais viscoelásticos, os amortecedores (AMR) e (AMT) dissipam grande parte da energia vibratória e transmite o restante dessa energia vibratória à massa oscilante (MOR ou MOT ou MOC ou MOA) que está fixa aos dois setores anelares de amortecimento e assim desloca-se de acordo com o grau de liberdade do suporte, que pode ser rotação, translação ou combinação dos dois graus de liberdade de rotação e translação, ambos sempre relativos aos eixos transversais ao eixo da máquina rotativa, o movimento oscilatório da massa oscilante sintonizada em conjunto com os amortecedores (AMR) e/ou (AMT) contribui para a redução das amplitudes de vibração do eixo da máquina, que por sua vez transmite a vibração ao segundo setor anelar de amortecimento, que dissipa grande parte da energia vibratória recebida e transmite o restante dessa energia ao pedestal e conseqüentemente ao meio, neste caso já bastante atenuada.

FIGURAS

Figura 1

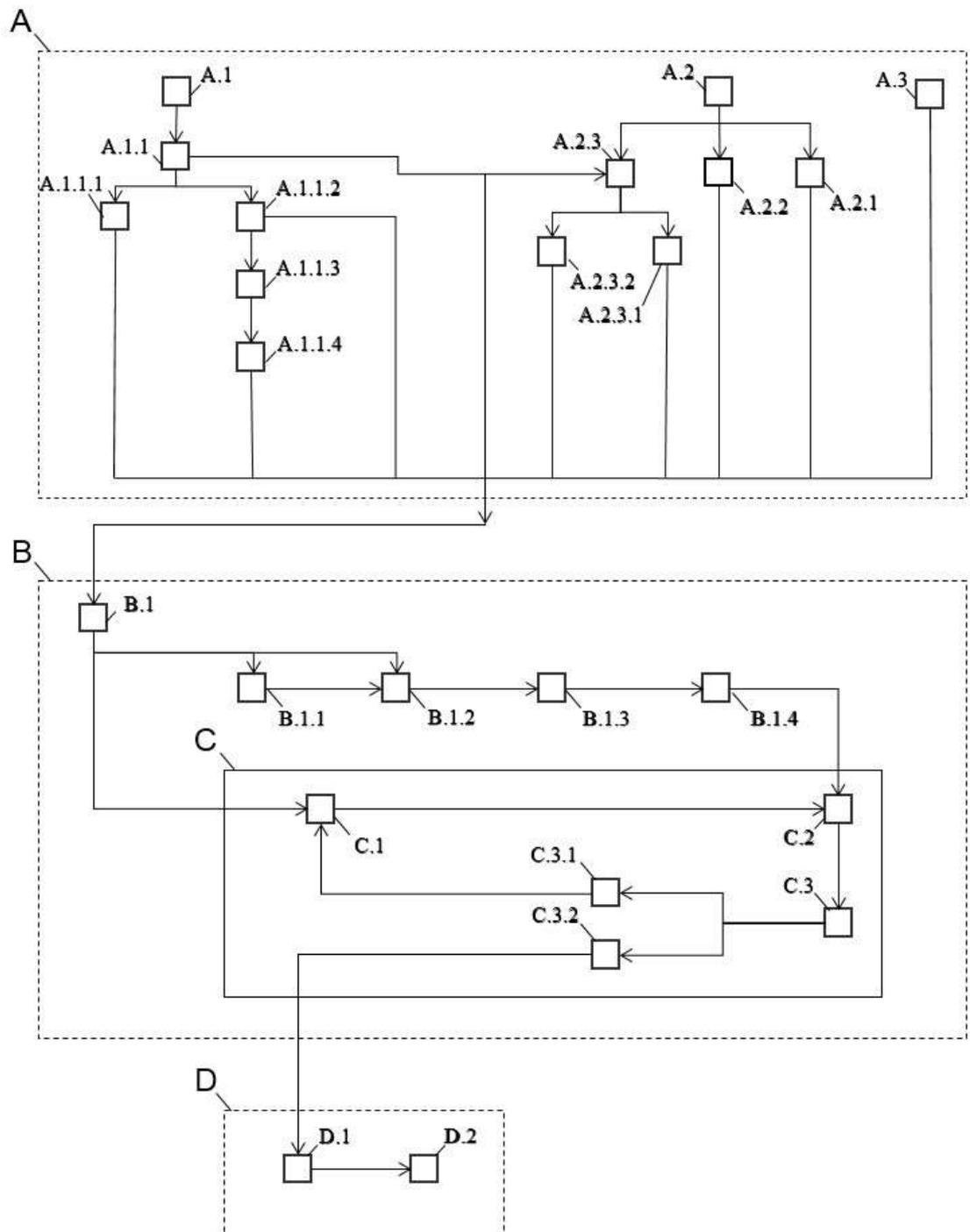


Figura 2

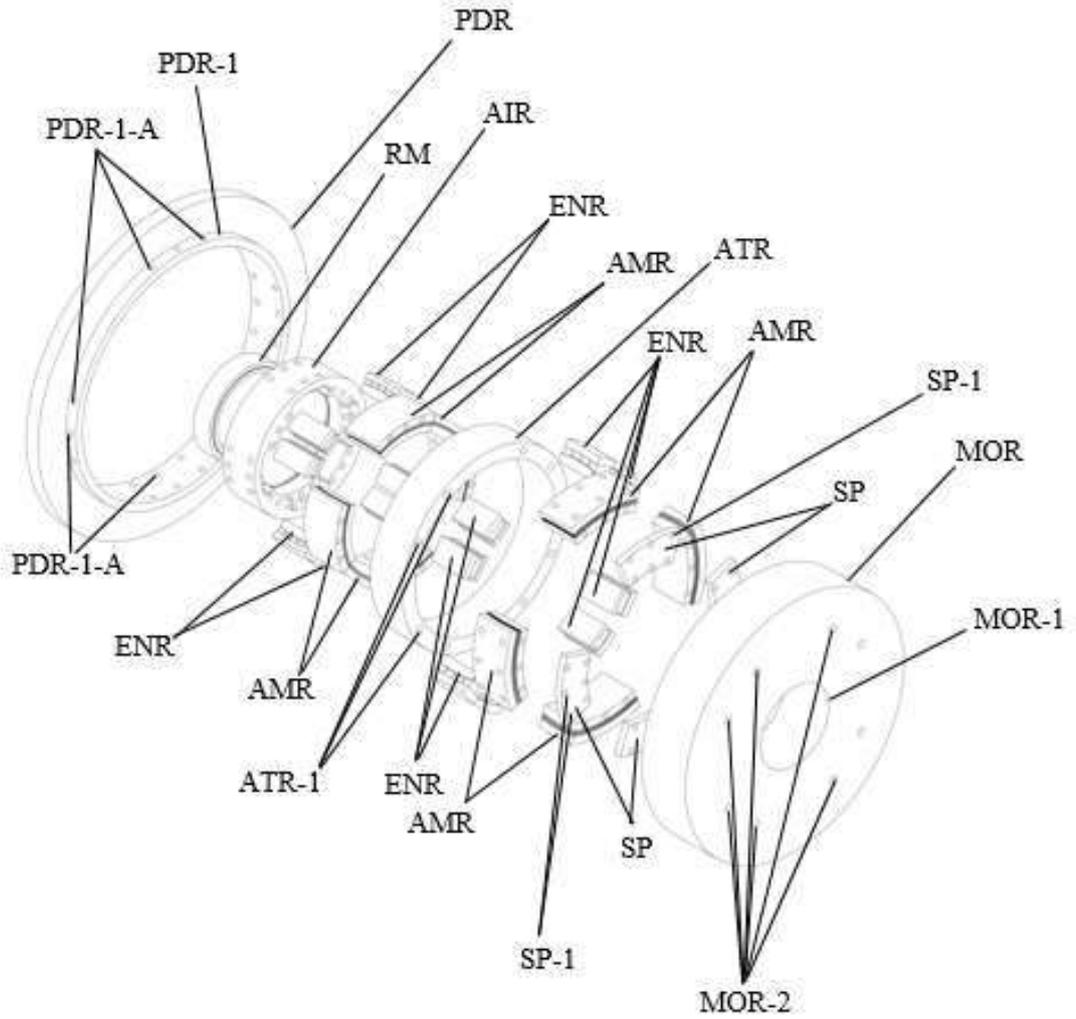


Figura 3

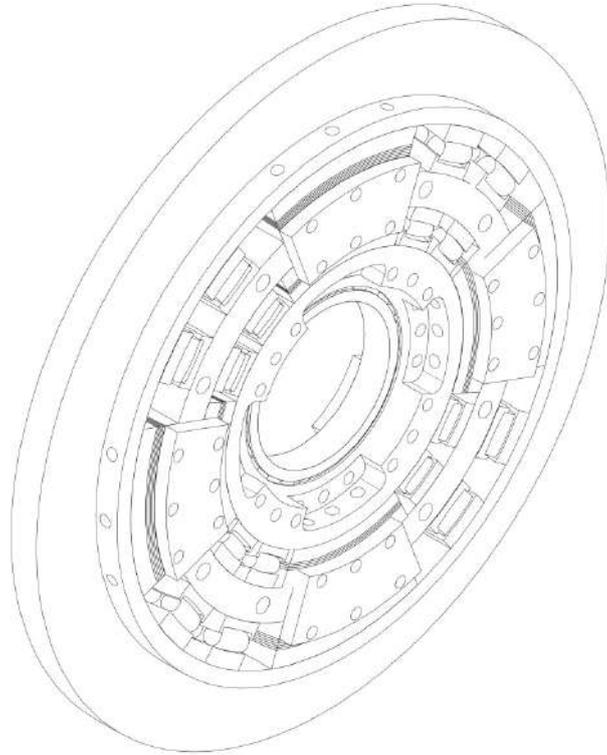


Figura 4

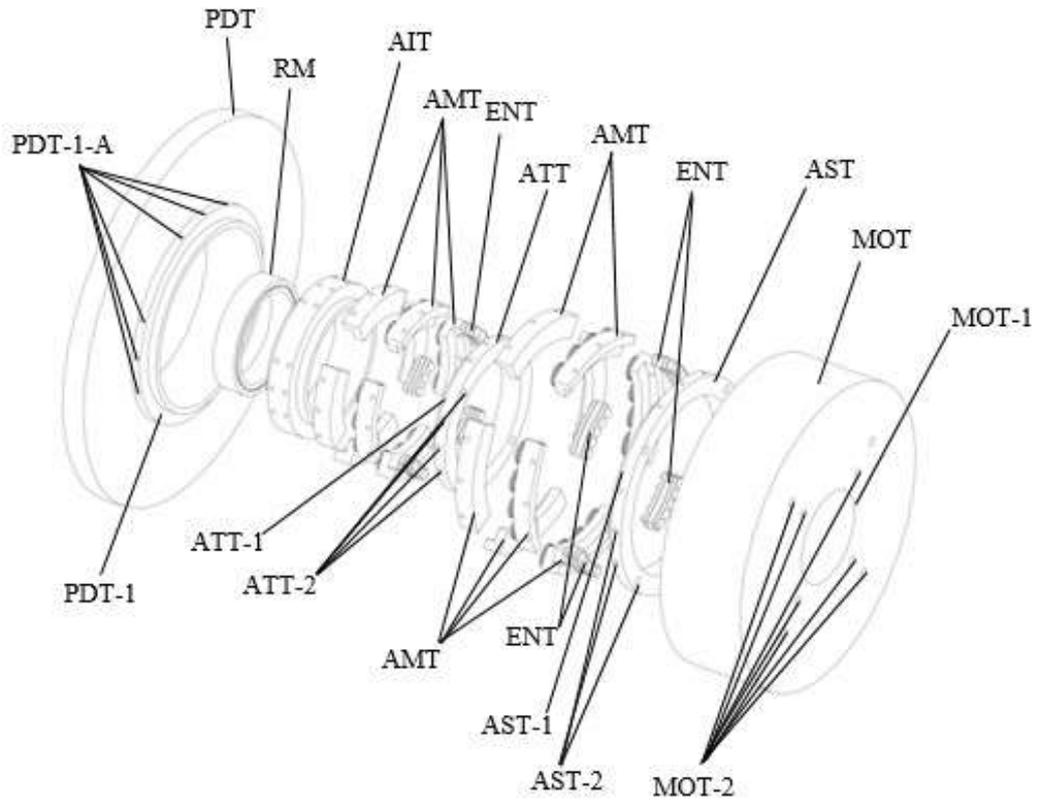


Figura 5

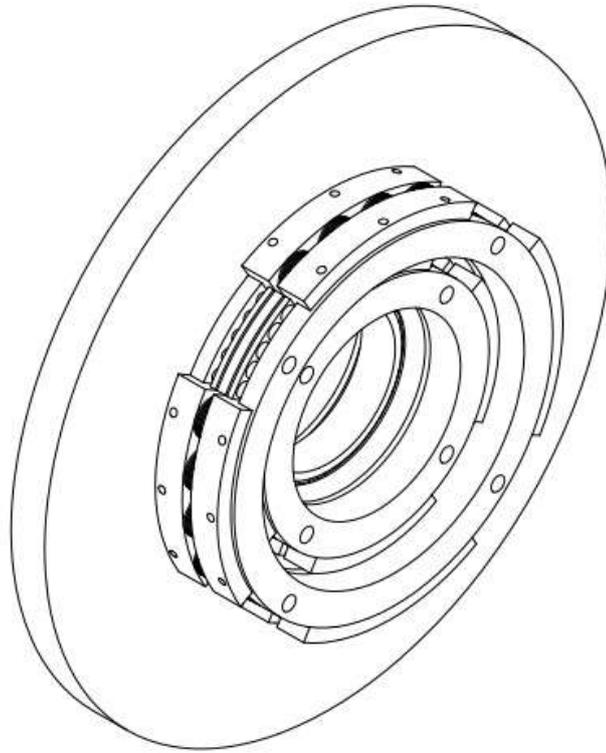


Figura 6

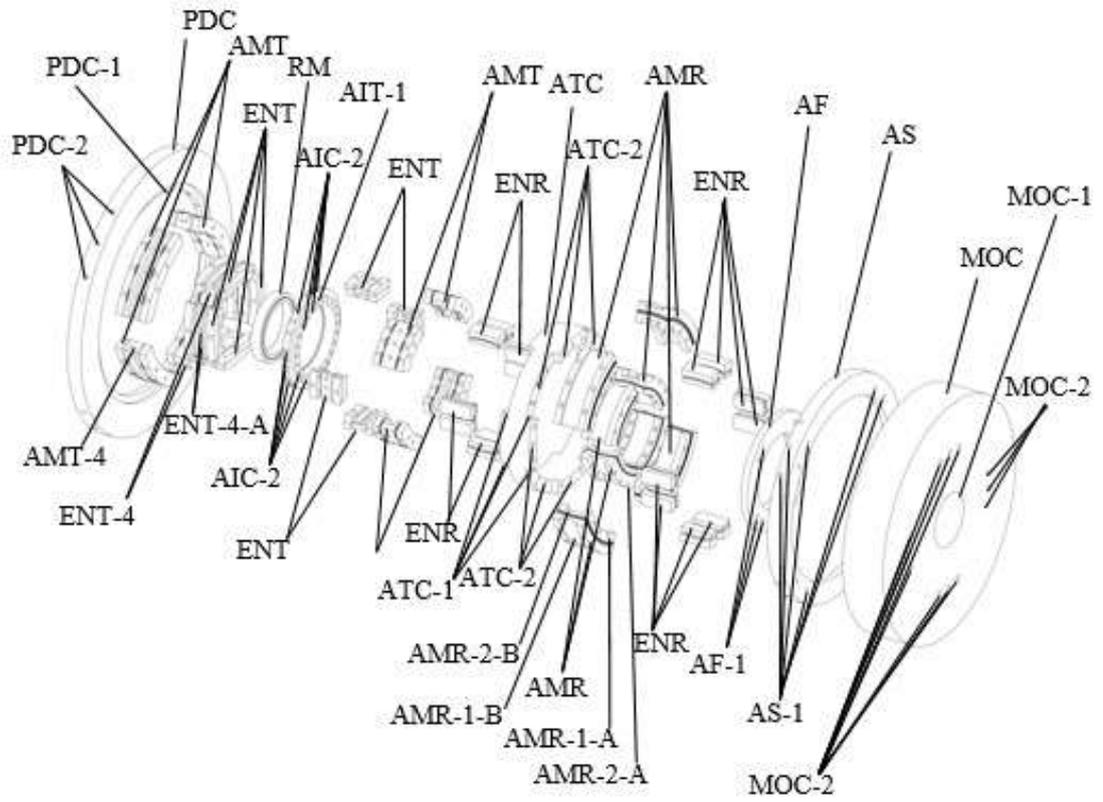


Figura 7

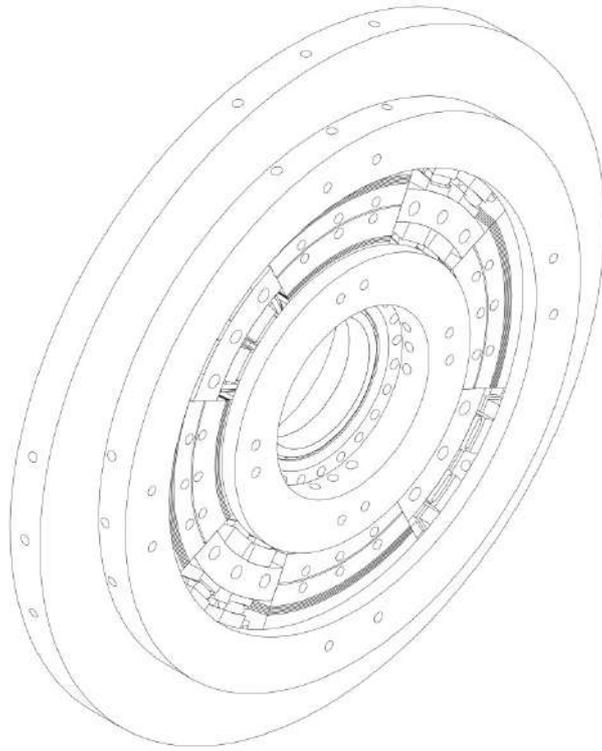


Figura 8

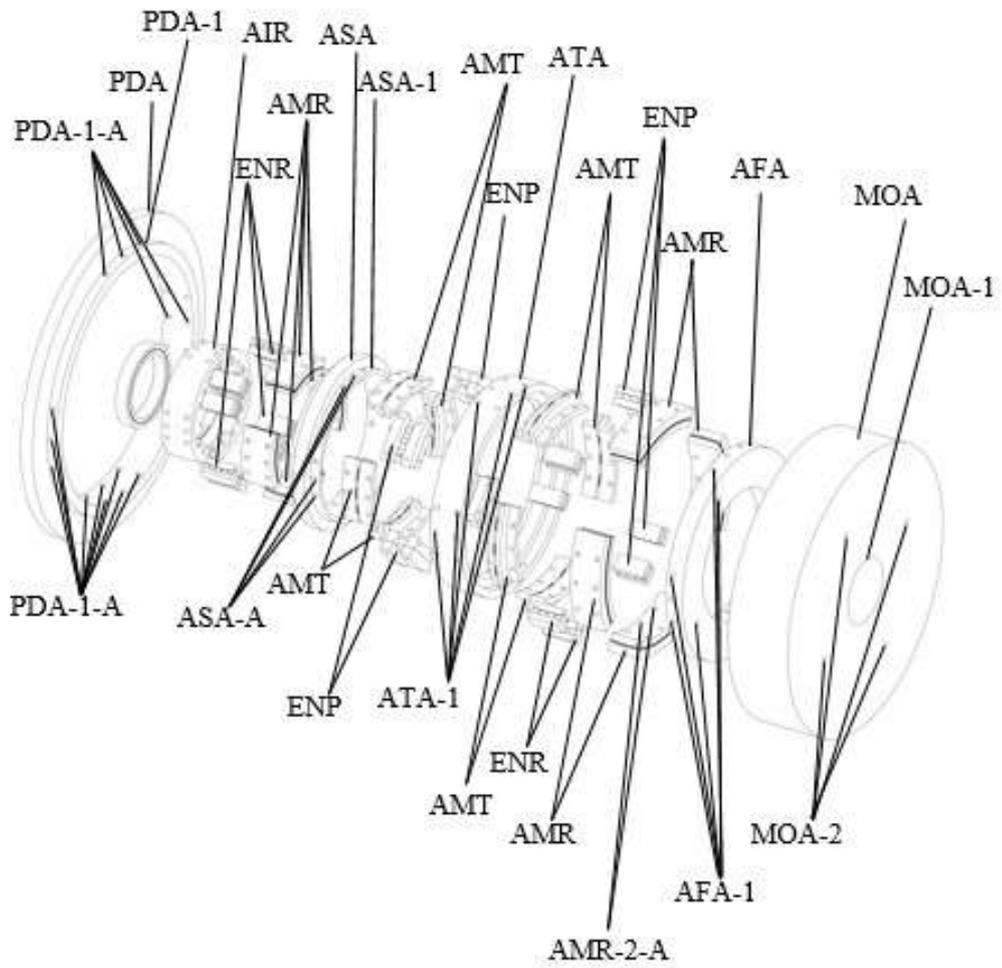


Figura 9

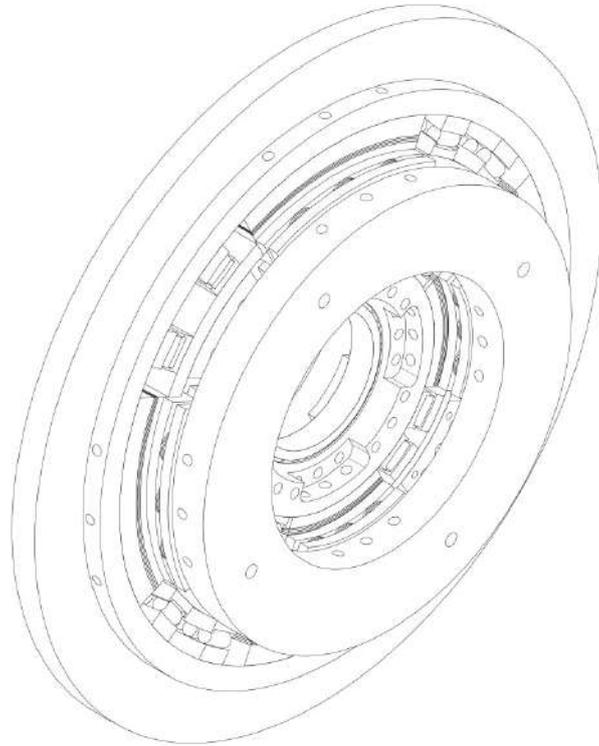


Figura 10

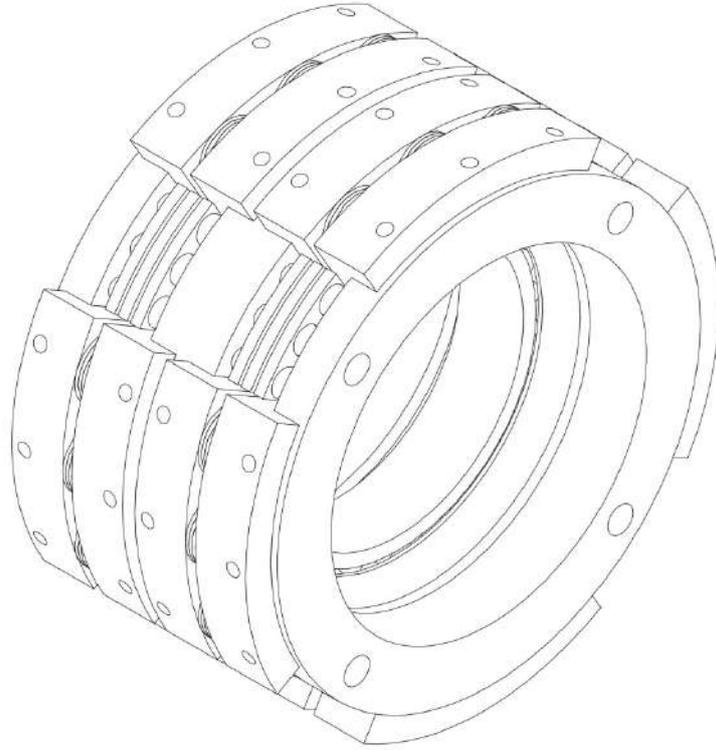


Figura 11

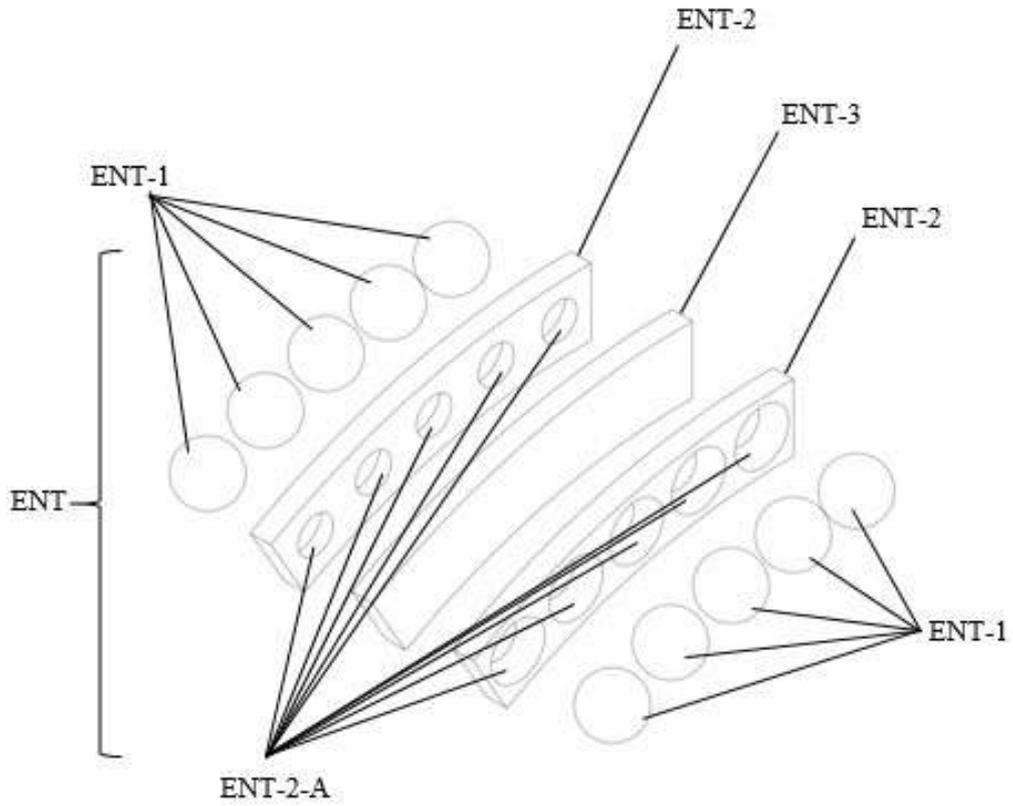


Figura 12

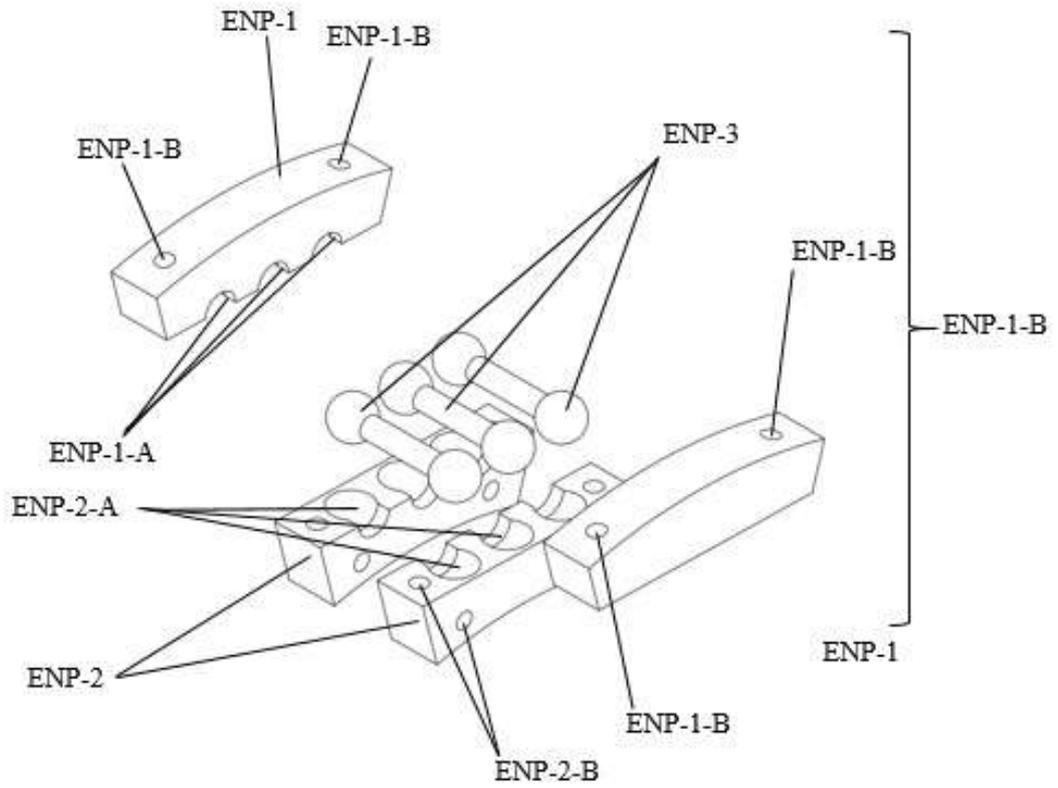


Figura 13

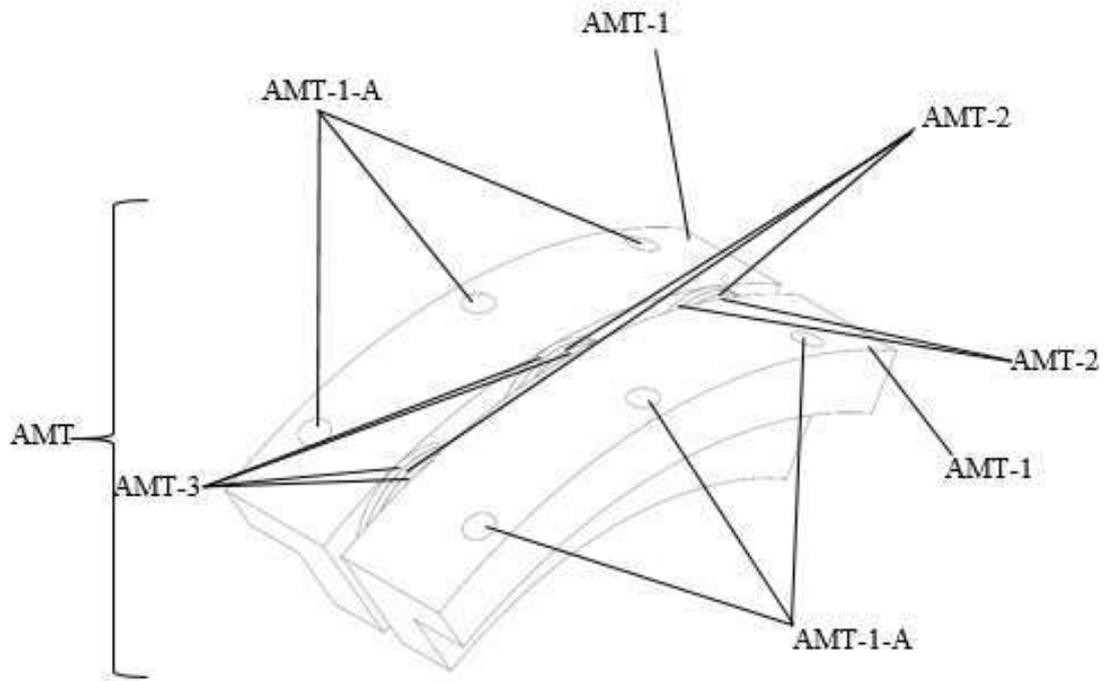


Figura 14

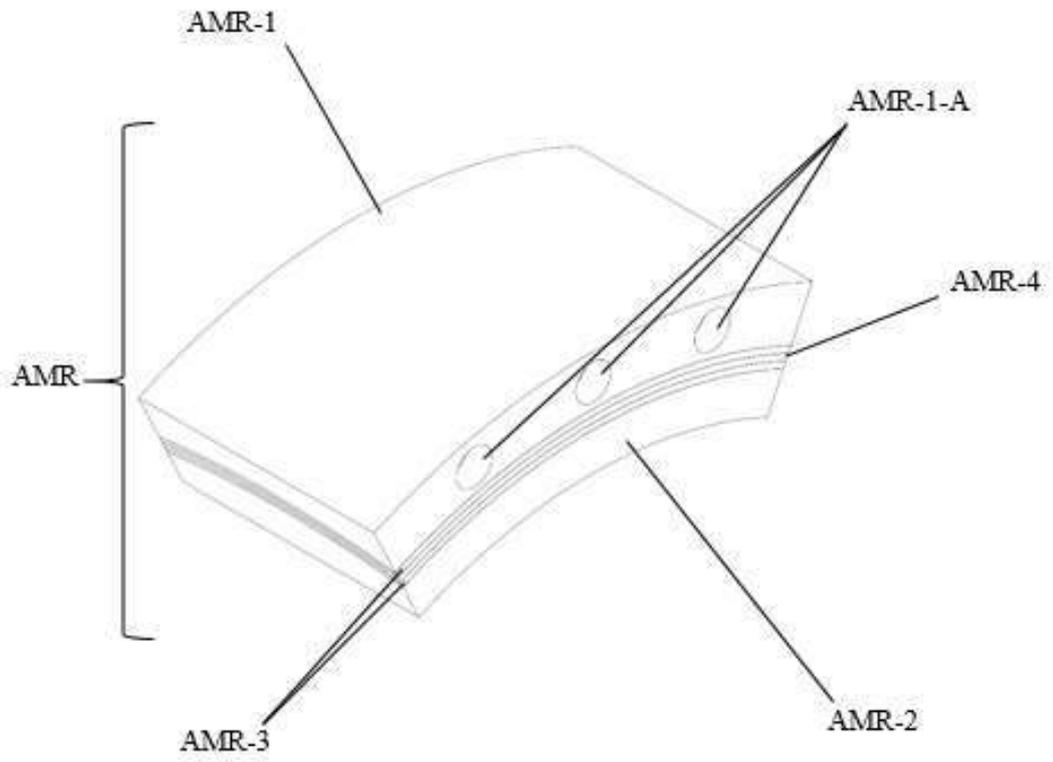


Figura 15

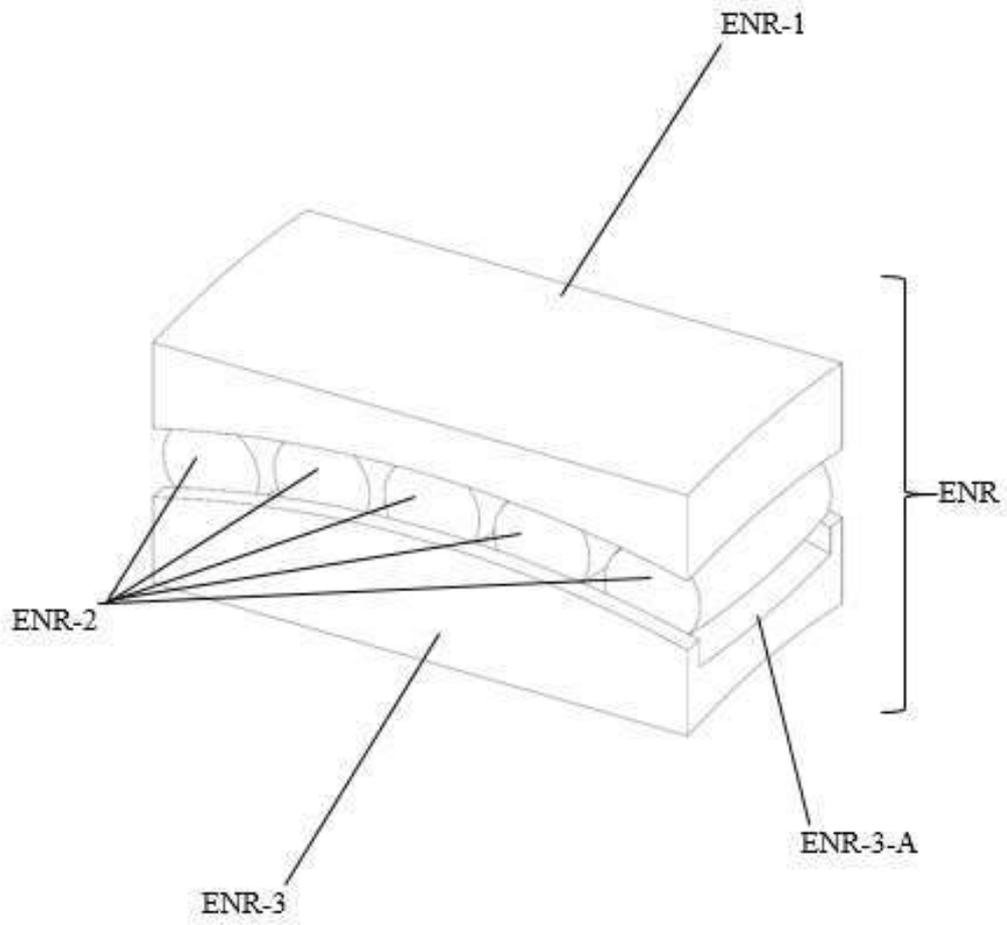


Figura 16

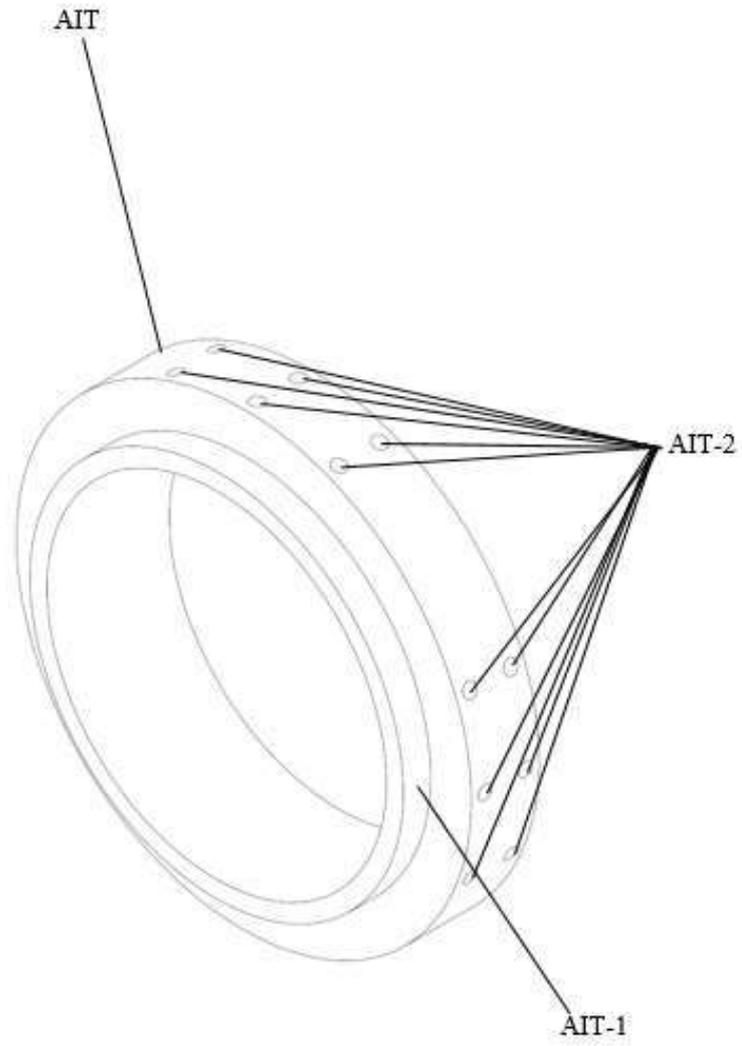


Figura 17

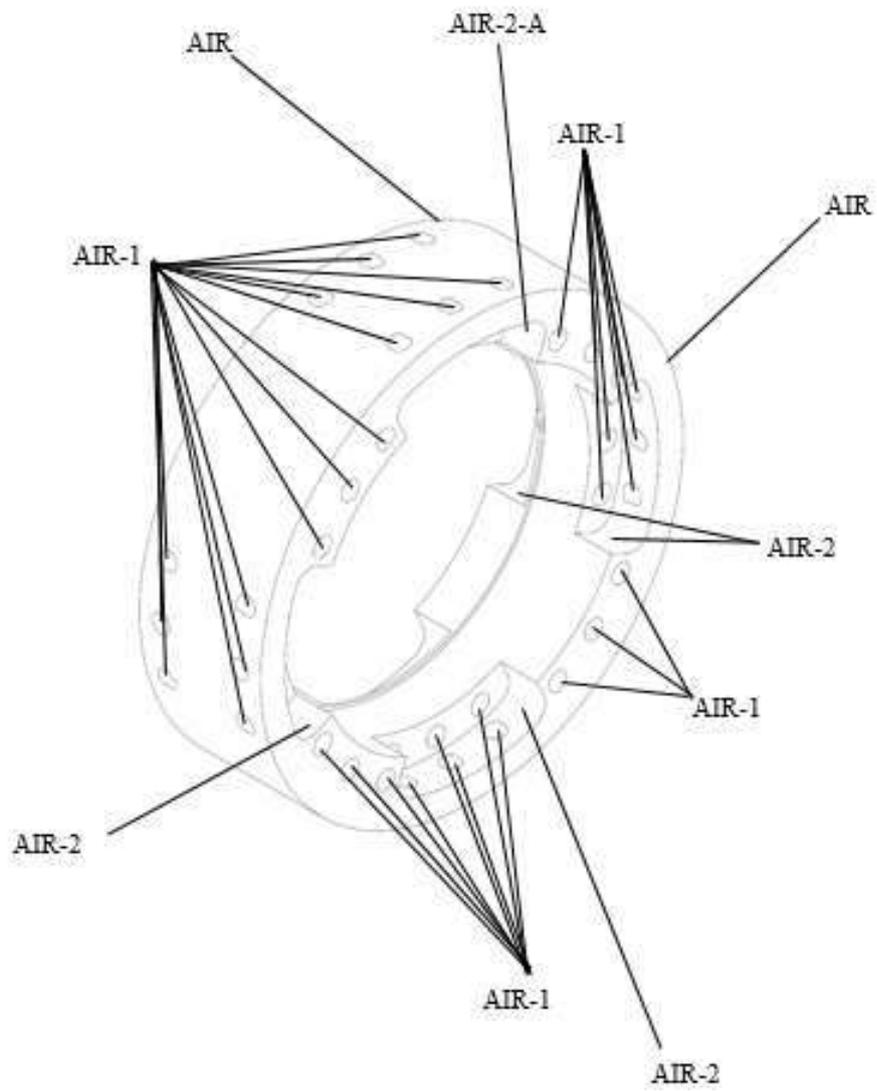


Figura 18

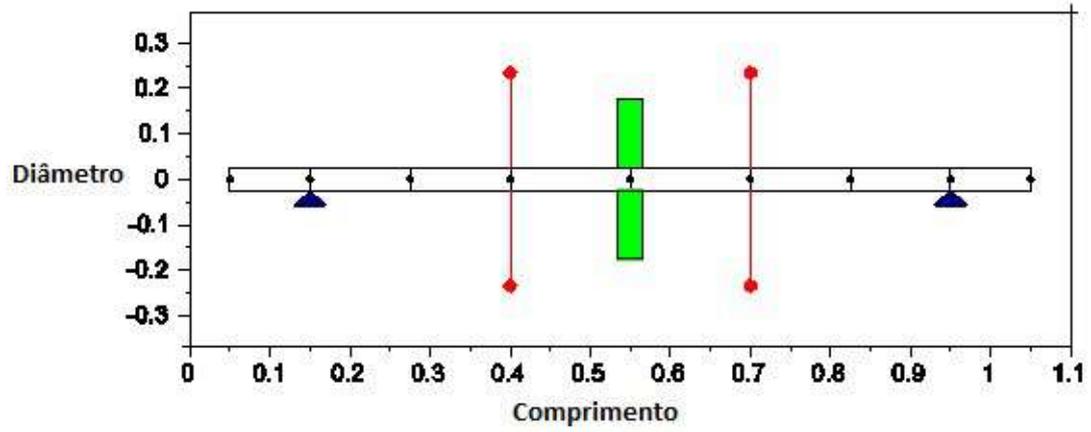


Figura 19

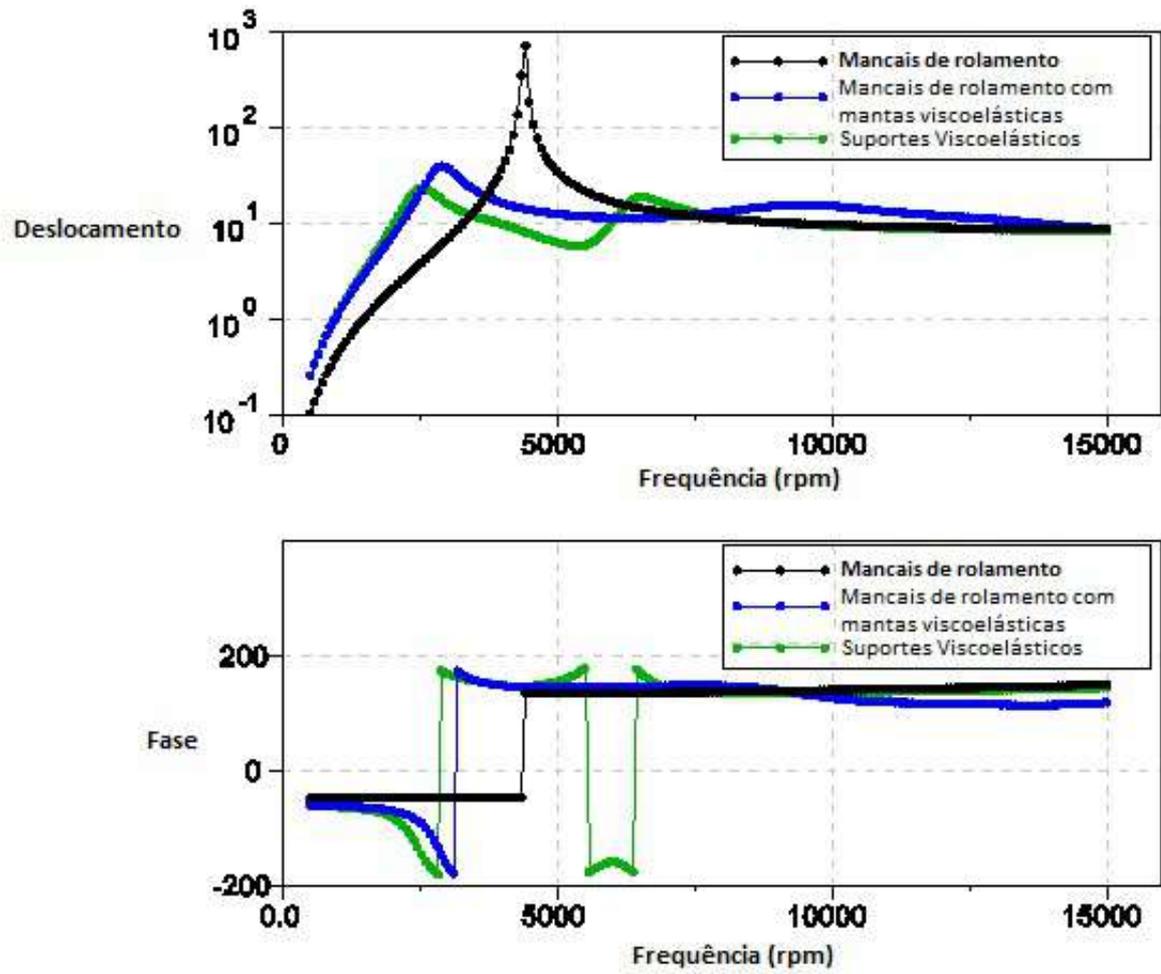


Figura 20

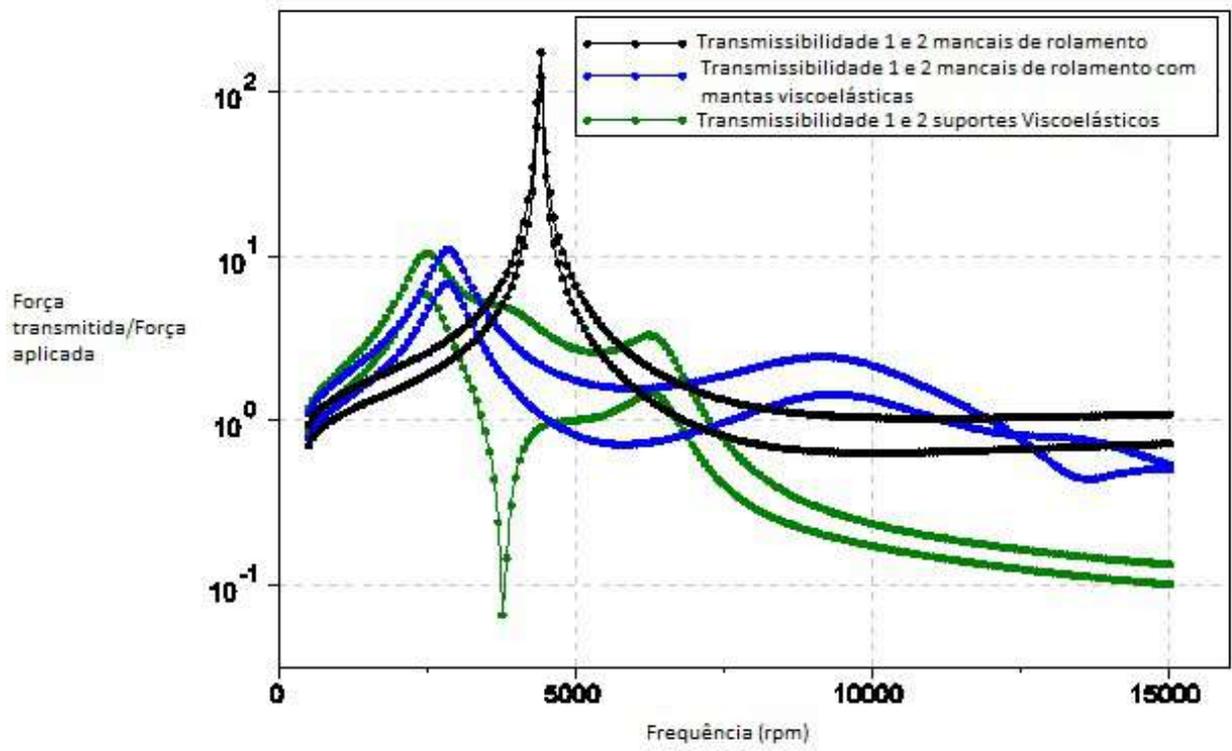


Figura 21

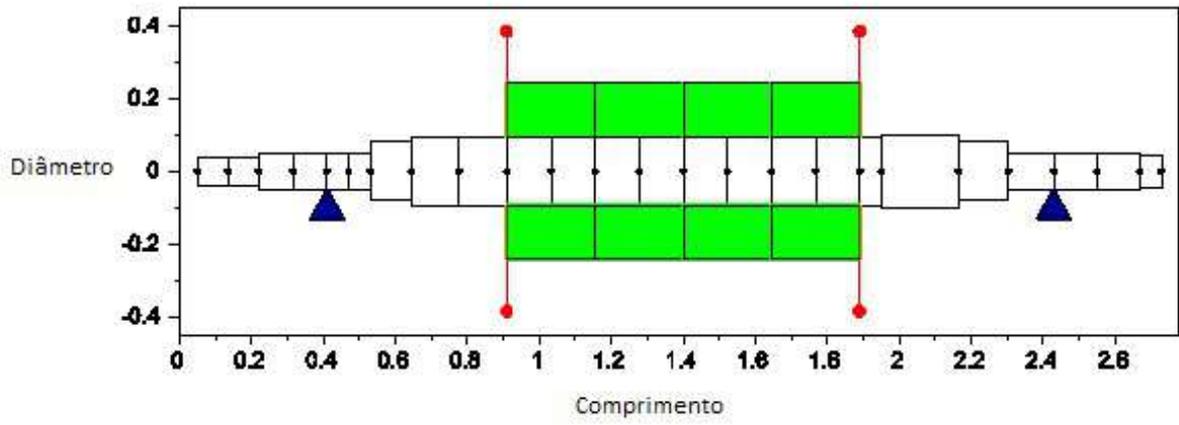


Figura 22

